

Zeitschrift: Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz = Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements en Suisse = Radioattività dell'ambiente e dosi d'irradiazione in Svizzera

Herausgeber: Bundesamt für Gesundheit, Abteilung Strahlenschutz

Band: - (1997)

Rubrik: Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz 1997 : Überblick = Synthèse de la radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements en Suisse pour 1997 = Radioattività dell'ambiente e dosi d'irradiazione in Svizzera nel 1997 : riassunto = Environmental radioactivity and radiation doses in Switzerland in 1997 : summary

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 15.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

A

Überblick

Sommaire

Riassunto

Summary

A

Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz 1997 Überblick	A.1
Synthèse de la radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements en Suisse pour 1997	A.11
Radioattività dell'ambiente e dosi d'irradiazione in Svizzera nel 1997 Riassunto	A.21
Environmental Radioactivity and Radiation Doses in Switzerland in 1997 Summary	A.31

A

Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz 1997: Überblick

H. Völkle

Sektion Überwachung der Radioaktivität (SUER)
Bundesamt für Gesundheit, Chemin du Musée 3, 1700 FRIBOURG

Einleitung

In diesem Kapitel findet der Leser eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Radioaktivitätsüberwachung in der Umwelt und der daraus resultierenden Strahlendosen der Bevölkerung. Hinweise auf entsprechende Kapitel im Teil B oder in früheren Jahresberichten sind in eckigen Klammern angegeben, Hinweise auf Teil A in runden Klammern.

Der erste Teil enthält die Ergebnisse der Umweltmessungen gemäss dem in Kapitel 1 beschriebenen Programm, aufgeschlüsselt nach den einzelnen Umweltsystemen, in denen sich die Radioaktivität ausbreitet. Der zweite Teil enthält die Messungen der externen Strahlung (Ortsdosisleistung), während im dritten die daraus resultierenden Strahlendosen der Bevölkerung erläutert werden.

Eine lückenlose (örtlich und zeitlich) Überwachung der Radioaktivität und der Strahlendosen ist nicht möglich. Messprogramme, Probenahmestellen und Analyseverfahren müssen daher so gewählt werden, dass die Überwachung hinreichend redundant ist um die Hauptbelastungspfade mit genügender Sicherheit zu erfassen. Dies erfordert ein gutes Verständnis der Quellen der natürlichen und künstlichen Radioaktivität, sowie der Transport- und Anreicherungsvorgänge in der Umwelt. Dies ist nur möglich, wenn die Untersuchungen der Laboratorien über die eigentliche Routineüberwachung hinausgehen und auch interdisziplinäre

Forschungsprojekte umfassen. Beispiele sind etwa Untersuchungen über die Akkumulation von Radionukliden in Sedimenten, natürliche Radionuklide im Trinkwasser und Radondiffusion im Erdboden.

Die Ermittlung der Strahlendosen der Bevölkerung basiert auf den Modellen und Dosisfaktoren der Schweizer Strahlenschutzverordnung (StSV) von 1994; diese geht von den Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) aus. Sie gelten für Personen, die bezüglich Lebens- und Ernährungsgewohnheiten sowie Metabolismus' dem Bevölkerungsdurchschnitt entsprechen. Vom Durchschnitt abweichendes Konsumverhalten bei gewissen Lebensmitteln oder der häufige Aufenthalt an Orten mit erhöhter Bestrahlung (z.B. in Höhlen oder im Gebirge) müssen zusätzlich berücksichtigt werden.

Für die Bewertung der Strahlendosen schlägt die ICRP Strahlenrisikofaktoren vor. Diese berücksichtigen das Risiko von genetischen Missbildungen sowie Tod oder Verminderung von Lebenserwartung oder Lebensqualität infolge Krebserkrankungen, ausgelöst durch ionisierende Strahlung. Diese Angaben basieren im Wesentlichen auf den Untersuchungen an den Überlebenden der Atombombenabwürfe auf Hiroshima und Nagasaki und sind als grobe Schätzwerte zu betrachten. Die Bewertung des Strahlenrisikos hat im Vergleich zu den übrigen Risiken des täglichen Lebens zu erfolgen. Die Radioaktivitätswerte in unserer Umwelt sowie die

Strahlendosen der Bevölkerung in unserem Land aus künstlichen Strahlenquellen waren jedoch bisher immer weit unter den entsprechenden gesetzlichen Limiten, sodass das entsprechende Strahlenrisiko unbedeutend ist. Anders ist es beim Radon, einer natürlichen Strahlenquelle. Das Radon in Wohnräumen ist (Kap. 2) wahrscheinlich für einige Prozent der in der Schweiz auftretenden Lungenkrebstodesfälle verantwortlich.

1. Natürliche und künstliche Radioaktivität in der Umwelt

1.1. Luft

Ausser ^{85}Kr und ^3H (Tritium) sind in der Luft, auch in der Umgebung von Kernanlagen [Kap. 8], künstliche Radionuklide (^{137}Cs , ^{239}Pu und ^{241}Am) nur noch in geringsten Spuren nachweisbar [Kap. 4.1 und 7.3 (Pu und Am)]. Das aus der Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoff stammende langlebige ^{85}Kr mit etwa 1 Bq/m^3 verteilt sich weltweit und zeigt einen ansteigenden Trend [Kap. 7.1]. In der unmittelbaren Umgebung von Tritium-verarbeitenden Betrieben treten ^3H -Werte von rund 10 Bq/m^3 in der Luftfeuchte auf [Kap. 4.1]. Dies ist etwa ein Prozent des Immissionsgrenzwertes gemäss Strahlenschutzverordnung (StSV).

Der Hauptanteil der Radioaktivität in der Aussenluft und erst recht in der Innenluft stammt vom natürlichen Edelgas Radon und seinen radioaktiven Tochternukliden. Mit den Aerosolen werden diese beim Atmen in der Lunge abgelagert und die beim Zerfall freigesetzten Alphateilchen bestrahlen das Lungengewebe und können Lungenkrebs auslösen. In den bis 1997 in der Schweiz ausgemessenen 25'000 Häusern (40'000 Messwerte) liegt der Mittelwert der Radonkonzentration im Wohnbereich bei etwa 80 Bq/m^3 in den übrigen Räumen (Keller) bei 120 Bq/m^3 . Rund 7 Prozent der Wohnräume liegen über dem Richtwert von 400 Bq/m^3 und etwa 2 Prozent über dem Grenzwert von

1000 Bq/m^3 [Kap. 2]. Da bei diesen Untersuchungen gezielt Radonrisikogebiete und Gebäude mit vermutet hohen Konzentrationen untersucht wurden, überschätzt dieser Mittelwerte den tatsächlichen. Für die Dosisabschätzung (3.1), wird daher weiterhin der früher verwendete Wert von 60 Bq/m^3 benutzt. Sanierungen, die vor allem darauf abzielen, dem Radon den Eintritt vom Boden ins Haus zu erschweren, sind im Gange.

1.2. Niederschläge

In den Niederschlägen dominiert ^3H (Tritium), das mit heute wenigen Bq/l hauptsächlich aus industriellen Anwendungen stammt. Der natürliche Anteil, das kosmogene Tritium, beträgt wenige Zehntel Bq/l . Regional sind diesem Grundpegel bis etwa 10 Bq/l aus Industriebetrieben und Kernanlagen überlagert, während lokal, in unmittelbarer Nähe von Tritium-verarbeitenden Betrieben oder durch die Verbrennung von tritiumhaltigen Abfällen Werte bis einige Tausen Bq/l auftreten führen [Kap. 4.1, 4.3, 7.1 und 9]. Für öffentliche Gewässer beträgt der Immissionsgrenzwert gemäss StSV 12'000 Bq/l . Der Toleranzwert für Trinkwasser (gemäss Fremd- und Inhaltsstoffverordnung FIV) beträgt 1000 Bq/l . Weitere künstliche Radionuklide, wie etwa ^{137}Cs lagen in allen Monatsproben unter 0.02 Bq/l , während das natürliche ^7Be etwa 1 Bq/l aufweist [Kap. 4.1].

1.3. Gewässer

In den Oberflächengewässern wurden 1997 nur Spuren von ^{60}Co , ^{134}Cs und ^{137}Cs gefunden; meist lag die Aktivität unterhalb 0.02 Bq/l . Werte bis 0.04 Bq/l ^{137}Cs zeigten sich in Proben aus dem Luganersee, was auf eine Rücklösung der in den Sedimenten gespeicherten Aktivität hinweist [Kap. 4.4]. In der Aare unterhalb des KKW Mühleberg (Rewag) und im Rhein unterhalb Basel (Weil/D) wurden Monatsmischproben mit empfindlicheren Messverfahren untersucht. Die Resultate erlauben eine Bilanzierung der monatli-

chen ^{60}Co -Fracht und den Vergleich mit den flüssigen Abgaben der Schweizer Kernkraftwerke. Mit Ausnahme des Monats November ergibt sich eine gute Übereinstimmung. [Kap. 4.3].

Untersuchungen im Wasser und Sediment des Luganersees lassen Rückschlüsse über Zu- und Abfluss sowie über die Ablagerung im Sediment von ^{137}Cs vom Reaktorunfall Tschernobyl ziehen. In den Zu- und Abflüssen liegt der ^{137}Cs -Gehalt bei wenigen mBq/l und pro Jahr verlassen etwa 4 GBq ^{137}Cs den Luganersee. In Sedimentborkernen ist der Tschernobylbeitrag (in wenigen cm Tiefe) und etwas schwächer jener der Kernwaffenversuche in 10 bis 20 cm Tiefe zu erkennen [Kap. 4.4].

Der Tritiumgehalt in den Flüssen lag wie bei den Niederschlägen, bei einigen Bq/l. Eine Ausnahme bildet der Doubs bei St. Ursanne/JU mit Werten bis 44 Bq/l [Kap. 4.3 und 7.1]. Messungen an Fischen aus Aare und Rhein lieferten keinen Hinweis auf Immissionen künstlicher Radionuklide.

Abwässer der Kläranlagen der grösseren Städte wiesen vereinzelt geringe Mengen (bis wenige Bq/l) an ^{131}I aus der Nuklearmedizin auf. Der Tritiumgehalt lag bei maximal 100 Bq/l, ausser bei der Kläranlage von La Chaux-de-Fonds, wo Werte bis 360 Bq/l auftraten. Dieses Tritium stammt hauptsächlich aus der Rauchgas-Waschanlage der regionalen Kehrrichtverbrennungs-Anlage. Der Jahresabfluss von Tritium über die Kläranlage betrug 1997 12 TBq; verarbeitet wurden in den Betrieben der Stadt 294 TBq ^3H [Kap. 4.3 und 9].

1.4. Erdboden

Bodenproben zeigen nach wie vor deutliche regionale Unterschiede auf, bei den natürlichen Radionukliden aus den Uran- und Thoriumreihen infolge geologische Unterschiede, beim ebenfalls natürlichen ^{40}K durch Verwendung von Kalidünger. ^{40}K weist, bezogen auf Trockengewicht, Werte zwischen 200 und 600 Bq/kg auf,

die Nuklide der ^{232}Th -Reihe zwischen 15 und 40 Bq/kg, jene der ^{238}U -Reihe zwischen 25 und 60 Bq/kg [Kap. 3.1 und 5.1].

Die künstlichen Radionuklide zeigen regionale Unterschiede, verursacht durch Ablagerungen aus den oberirdischen Kernwaffen-Explosionen der 60er-Jahre sowie vom Reaktorunfall Tschernobyl. Die ersteren dauerten von den 50er- bis in die 70er-Jahre und korrelieren mit der regionalen Verteilung der Niederschlagsmengen. Sie sind somit für ^{137}Cs , ^{90}Sr und Pu höher in den Alpen und Südalpen (und z.T. im Jura) als im Mittelland. Die Ablagerung des ^{137}Cs nach dem Unfall Tschernobyl im Mai 1986 dauerte dagegen nur ein bis zwei Wochen und beschränkte sich bei den langlebigen Radionukliden im wesentlichen auf ^{137}Cs , während ^{90}Sr in Westeuropa nur etwa 1 Prozent der abgelagerte Cs-Aktivität ausmachte. Der Tschernobyl-Anteil ist wesentlich heterogener verteilt als jener des Fallout's, was mit den unterschiedlichen Niederschlagsmengen während dieses Zeitraums zusammenhängt. Hauptsächlich betroffen waren der Tessin und die Bündner Südtäler, in geringerem Ausmass auch der Jura und Teile der Nordostschweiz. Die Summe von Fallout und Tschernobyl ergibt, bezogen auf das Trockengewicht, für ^{137}Cs 10 bis 350 Bq/kg, für ^{90}Sr 1 bis 6 Bq/kg und für ^{239}Pu 0.2 bis 1.4 Bq/kg. Der grösste Teil dieser künstlichen Radioaktivität befindet sich noch immer in den obersten 20 cm des Erdbodens, im Falle eines Waldbodens im Tessin sogar nur in den ersten 10 cm. In Extremfällen kann die Anreicherung künstlicher Nuklide auch grösser sein [Kap. 3.1, 5.1, 7.2 (^{90}Sr) und 7.3 (Pu und Am)].

Ein Einfluss der Emissionen der Kernanlagen konnte im Boden mit folgender Ausnahme nicht festgestellt werden. Beim Kernkraftwerk Mühleberg sind Spuren von ^{134}Cs , ^{137}Cs und ^{60}Co , jeweils einige Bq/kg nachweisbar, die von einer Emission radioaktiver Harze über die

Abluft im Jahr 1986 stammen [Kap. 8.2 und 8.3].

1.5. Pflanzen und Lebensmittel

In Gras- und Lebensmittelproben dominierte meist das natürliche ^{40}K gegenüber den künstlichen Radionukliden. Ausser beim ^{14}C stammen diese Spuren nicht von Schweizer Kernanlagen oder Forschungsbetrieben. Es handelt sich im Wesentlichen um ^{137}Cs vom Reaktorunfall Tschernobyl und von den oberirdischen Kernwaffen-Versuchen, das aus dem Boden über die Wurzeln in die Pflanzen gelangt. Die regionale Verteilung der Aktivitäten entspricht daher jener im Erdboden (s.o.). Ausserhalb des Kantons Tessin und den Bündner Südtälern liegen die ^{137}Cs Werte im Gras zwischen 0.5 und 10 Bq/kg Trockensubstanz, in der Milch unterhalb 1 Bq/l und im Getreide unter 0.9 Bq/kg. Im Tessin und in den Bündner Südtälern treten im Gras immer noch Werte bis 82 Bq/kg Trockensubstanz, in der Milch bis 22 Bq/l auf. Beim ^{90}Sr liegen die Werte für die ganze Schweiz beim Gras zwischen 1.4 und 12 Bq/kg, bei der Milch zwischen 0.03 und 0.45 Bq/kg und im Getreide zwischen 0.3 und 0.8 Bq/kg Trockensubstanz. Die ^{90}Sr -Werte sind in den Alpen und z.T. im Tessin leicht höher als in der übrigen Schweiz. Dies bestätigt die Annahme, dass diese Regionen mit höheren Niederschlagsmengen auch in den 60er-Jahren vom Fallout stärker betroffen waren als das Mittelland [Kap. 5.1 und 7.2].

Der Toleranzwert für ^{137}Cs in der Milch von 10 Bq/l wurde bei einer Probe aus dem Tessin mit 22 Bq/l überschritten, nicht jedoch der Grenzwert von 400 Bq/l (auch nicht für Säuglings-Anfangsnahrung). Beim ^{90}Sr in der Milch wurde der Toleranzwert von 1 Bq/l in keinem Fall überschritten [Kap. 5.1 und 7.2].

Beim importierten Wildfleisch sind, trotz abnehmender Tendenz, noch teilweise erhöhte ^{137}Cs -Werte festzustellen wobei jedoch 80 Prozent der Proben unter 100

Bq/kg lagen und nur eine den Toleranzwert von 600 Bq/kg überschritt. Bei den Pilzen von der Alpennordseite (Maronenröhrlinge, andere Röhrlinge und Zigeunerpilze) ergab eine Probe mehr als der Toleranzwert von 6000 Bq ^{137}Cs /kg, bezogen auf Trockengewicht. Fast die Hälfte der Proben ergab weniger als 100 Bq/kg und keine lag über dem Grenzwert. Während sich bei den Rotfussröhrlingen und bei den Zigeunerpilzen eine allmähliche Abnahme zeigt, ist eine solche bei den Maronenröhrlingen wegen der grossen Streuung der Werte noch nicht zu erkennen. Importierte Pilzproben waren alle unter dem Toleranzwert und zu zwei Drittel unter 100 Bq/kg [Kap. 5.1].

1.6. Kohlenstoff-14 in Pflanzen

^{14}C wird durch Assimilation von CO_2 von den Pflanzen aus der Luft während der Wachstumsphase aufgenommen. Zum natürlicherweise vorhandenen ^{14}C von rund 227 Bq/kg Kohlenstoff in den Pflanzen kommt der Betrag der Kernwaffen-Versuche hinzu. Dieser Anteil war in den 60er-Jahren etwa gleich gross wie der natürliche und beträgt heute noch 107 Promille davon. 1997 wurden in der Nähe des Kernkraftwerkes Leibstadt in Baumblättern Werte gefunden, die bis 125 Promille über dem Referenzwert liegen. Beim stillgelegten Forschungsreaktor Saphir des Paul-Scherrer-Institutes beträgt die Erhöhung noch etwa 27 Promille [Kap. 7.1].

In der Stadt Basel werden in der neuen Sondermüll-Verbrennungsanlage unter anderem ^{14}C -haltige Abfälle aus der chemischen Forschung verbrannt. Das führt bei den Proben von Baumblättern aus der Umgebung zu einer Erhöhung gegenüber dem Referenzwert um bis zu 410 Promille.

Der Gehalt an Natürlichen ^{14}C in Nahrungsmitteln führt zu 0.013 mSv pro Jahr. Die in der Umgebung von Siedewasserreaktoren und im Basel gemessene

nen Erhöhung führt zu einer zusätzlichen Dosis von 0.001-0.002 mSv pro Jahr.

1.7. Menschlicher Körper

Mit Ganzkörpermessungen und ^{90}Sr -Bestimmungen an Milchzähnen und Wirbelknochen wird die tatsächliche Aufnahme von Radionukliden über die Nahrung erfasst. Ganzkörpermessungen an Gymnasiasten aus Basel und Genf ergaben keine messbare ^{137}Cs -Aktivität, d.h. weniger als 27 Bq, während die Aktivität des natürlichen ^{40}K im menschlichen Körper bei 3500 (Frauen) bis 5000 (Männer) Bq liegt [Kap. 6.1]. Der ^{90}Sr -Gehalt betrug in Milchzähnen maximal 0.07 und in Knochen 0.03 Bq $^{90}\text{Sr}/\text{g Ca}$ [Kap. 6.2].

2. Externe Strahlendosen

2.1. Natürliche Strahlung

Die externe Strahlendosis stammt zu grössten Teil von natürlichen Quellen im Boden und in Baumaterialien, sowie von der kosmischen Strahlung. Da ^{40}K und die Nuklide der Uran- und Thoriumreihen stark regionale Unterschiede aufweisen, ist auch die dadurch bedingte Dosisleistung regional sehr verschieden. Die kosmische Strahlung wird von der Atmosphäre teilweise abgeschwächt und nimmt daher mit der Höhe zu. Auf 300 m.ü.M. beträgt ihr Beitrag zur Ortsdosis etwa 40 nSv/h, auf 2000 m 80 nSv/h und erreicht auf der Reiseflughöhe von 10'000 m 5000 nSv/h [Kap. 3.1].

Die Dosisleistung im Freien liegt in der Schweiz im Mittel bei 100 nSv/h, mit Werten zwischen 40 nSv/h zu 230 nSv/h. Im Hausinnern werden kosmische Strahlung und der Beitrag durch die Radioaktivität im Erdboden durch die Gebäudehülle teilweise abgeschirmt. Natürliche Radionuklide im Baumaterial führen aber zu einer zusätzlichen Strahlung, die diese Abschirmung meist mehr als kompensiert. Bei einem Wertebereich von 50 nSv/h bis

260 nSv/h liegt der Mittelwert im Hausinnern von 110 nSv/h etwa 10 Prozent höher als im Freien [Jahresbericht 1996: Kap. 3.3].

2.2. Künstliche Radioaktivität

Der immer noch vorhandene Beitrag vom Reaktorunfall Tschernobyl im April 1986 und von den oberirdischen Kernwafferversuchen in den 60er-Jahren liegt heute bei einigen Prozent der gesamten externen Dosisleistung. Eine Ausnahme bildet der Tessin, wo dieser Anteil bis 30 Prozent beträgt [Kap. 3.1 und 3.2].

An wenigen Stellen unmittelbar am Zaun der Kernkraftwerke, des PSI und des CERN wurden infolge Direktstrahlung bis einige 100 nSv/h gemessen. In der leichter zugänglichen näheren Umgebung trägt dieser Beitrag jedoch in Anbetracht der kurzen Aufenthaltszeit von Personen an diesen Stellen nicht wesentlich zur Strahlendosis bei [Kap. 8.3].

Die im Kapitel 1.4 bereits erwähnte Altlast in der Umgebung des Kernkraftwerkes Mühleberg führt heute, in 1 m Höhe über dem Boden, noch zu maximal 3 nSv/h.

2.3. Aeroradiometrie

Bei den Messungen mit einem Strahlungsdetektor an Bord eines Helikopters (Aeroradiometrie mit NaI-Detektor) waren die vom Zerfall des ^{16}N stammende Strahlung aus dem Kernkraftwerk Leibstadt (KKL), und die Strahlung von den Zwischenlagern für radioaktive Abfälle im Paul Scherrer Institut (PSI) gut messbar. Die über dem KKL in 90 m Höhe gemessenen 2000 nSv/h sind aber für die Bevölkerung ohne Bedeutung, da die Strahlungsquelle in der Nähe des Bodens seitlich gut abgeschirmt ist [Kap. 3.4].

3. Strahlendosen der Bevölkerung

3.1. Natürliche Radioaktivität und kosmische Strahlung

Der grösste Dosisbeitrag stammt vom Radon und seinen Folgeprodukten in Wohn- und Arbeitsräumen. Die in der Schweiz bis 1997 durchgeführten Erhebungen ergeben: Mittel 80 Bq/m^3 , 50 Prozent liegen unter 77 Bq/m^3 , 93 Prozent unter dem Richtwert von 400 Bq/m^3 und 98 Prozent unter dem Grenzwert von 1000 Bq/m^3 [2]. Da der genannte Mittelwert wegen der gezielten Auswahl der Häuser und der Regionen die tatsächlichen Verhältnisse überschätzt, wurde für die Berechnung der Dosis, wie im Jahresbericht 1996, ein Wert von 60 Bq/m^3 angenommen, im weiteren eine Aufenthaltsdauer von 7000 Stunden pro Jahr im Wohnbereich und 2000 Stunden pro Jahr am Arbeitsplatz. Das andere natürliche radioaktive Edelgas Thoron, für das in der Schweiz noch keine Messwerte im Wohnbereich vorliegen, erhöht die Dosiswerte ungefähr um weitere 10 Prozent. Damit ergibt sich im Mittel eine jährliche Dosis durch Radon und Thoron von etwa $1,6 \text{ mSv}$. In etwa 5 Prozent der Wohnräume liegt die Dosis um mehr als einen Faktor 10 über dem Mittel, in etwa 10 Prozent noch 5 mal darüber. Vergleichsweise führt ein Aufenthalt von einem Tag in einer Höhle mit 5000 Bq/m^3 zu etwa $0,4 \text{ mSv}$.

Natürliche Radionuklide gelangen auch über die Nahrung in den Körper und führen zu durchschnittlichen Jahresdosen von etwa $0,36 \text{ mSv}$, wobei das ^{40}K mit $0,2 \text{ mSv}$ den grössten Beitrag liefert. Die Schwankungsbreite ist nicht bekannt, das Minimum dürfte aber etwas unter $0,2 \text{ mSv}$ liegen, da die ^{40}K Konzentration im Körper weitgehend konstant ist. Der Konsum von einem Liter Mineralwasser pro Tag, das 1 Bq/l ^{226}Ra enthält, würde zu einer zusätzlichen Dosis von etwa $0,1 \text{ mSv/a}$ führen.

Der Beitrag der natürlichen Radionuklide im Boden zur externen Strahlung lässt sich nur grob abzuschätzen. Er hängt stark vom lokalen Radionuklidgehalt des Bodens, von der Höhe über Meer und den Lebensgewohnheiten ab. Messungen der Ortsdosen ergeben zudem nur die Summe der natürlichen und künstlichen Komponenten. Mittels der in-situ Gamma-Spektroskopie lässt sich die Ortdosis in die einzelnen Beiträge aufschlüsseln: Der natürliche Anteil liegt in der Schweiz zwischen 40 und etwa 90 nSv/h , was bei dauerndem Aufenthalt im Freien zu $0,35$ bis $0,80 \text{ mSv}$ pro Jahr führt.

Ebenso schwierig ist die Bestimmung des Beitrags der natürlichen Radionuklide im Baumaterial zur Strahlendosis im Hausinnern. Nur gamma-spektrometrische Messungen erlauben, natürliche und künstliche Komponenten zu unterscheiden. Bisher wurden in der Schweiz nur wenige solcher Messungen durchgeführt. Die Dosis im Hausinnern dürfte etwa 10 Prozent höher sein als im Freien.

Die kosmische Strahlung führt, bei dauerndem Aufenthalt im Freien, auf 300 m.ü.M. zu einer Jahresdosis von etwa $0,35 \text{ mSv}$ pro Jahr und auf 2000 m.ü.M. zu etwa $0,70 \text{ mSv}$ pro Jahr. Ein Flug von Europa nach Nordamerika ergibt ca. $0,04$ - $0,09 \text{ mSv}$. Beim fliegenden Personal und bei Vielfliegern kann die kosmische Strahlung eine zusätzliche Jahresdosis 2 bis 5 mSv verursachen.

Eine Zusammenstellung der Dosisleistungsmessungen im ganzen Land findet sich im Teil B [3.1 und 3.3]. Geht man davon aus, dass an diesen Stellen der Anteil der künstlichen Radioaktivität klein ist, d.h. wenige Prozent beträgt, dann ergibt sich für die externe natürliche Strahlendosis im Freien und im Hausinnern ein Mittel für die Schweiz von etwa $0,9 \text{ mSv}$ pro Jahr.

Für die **Schweizer Bevölkerung** beträgt die Jahresdosis aus **natürlichen Quellen** gesamthaft etwa $2,9 \text{ mSv}$ und besteht

aus folgenden Komponenten (in Klammern Schwankungsbereich): Nahrung: 0.4 [0.2 – 0.5], ext. Strahlung: 0.9 [0.5 – 2.0], Radon: 1.6 [0.3 – über 20 in 2 Prozent der Häuser].

3.2. Zivilisationsbedingte Strahlendosen

Der grösste Beitrag kommt aus **medizinischen Anwendungen** bei der Röntgendiagnostik und der Nuklearmedizin. Eine Erhebung über die Dosen durch Röntgendiagnostik von 1978 ergab Einzelwerte von 0 bis 30 mSv pro Jahr mit einem approximativen Bevölkerungsmittel von 1 mSv pro Jahr. Eine neue Erhebung wird gegenwärtig durchgeführt. Bei der Nuklearmedizin ergab eine Untersuchung von 1989/90 Einzelwerte von 0 bis 80 mSv mit einem Mittel für die Bevölkerung von 0.04 mSv pro Jahr.

Ein weiterer, nur ungenau abschätzbarer Beitrag zur Strahlenexposition kommt von den sogenannten **"Kleinquellen"**. Dies sind Gebrauchsgegenstände und Konsumgüter, die Radionuklide in geringen Mengen enthalten, u.a. Uhren mit Leuchtziffern auf Tritiumbasis ¹⁾, natürliche Radionuklide in Fliesen, Glühstrümpfen oder Zahnkeramik, Ionisations-Rauchmelder, ferner auch das beim Rauchen eingeatmete Polonium-210. Dieser Beitrag dürfte im Bevölkerungsmittel etwa 0.1 mSv pro Jahr ausmachen. Die 62'236 beruflich strahlenexponierten Personen in Kernkraftwerken, Industrien, Handel, öffentliche Dienste, Forschung und Medizin akkumulierten 1997, mit einer Ausnahme, Dosen bis maximal 20 mSv mit einer Kollektivdosis von 8.37 Personen-Sievert. Nur bei 3 Prozent lag die Dosis über 1 mSv pro Jahr, in Durchschnitt 0.13 mSv/Jahr pro Person.

1) Es zeichnet sich allerdings ein Trend ab, bei Armbanduhren ganz auf Tritiumleuchtfarbe zu verzichten, da heute Phosphoreszenzstoffe mit deutlich längerer Nachleuchtezeit erhältlich sind, die das Tritium überflüssig machen.

Mit der Nahrung aufgenommene künstliche Radionuklide verursachen im Mittel in der Schweiz eine **interne Bestrahlung** von etwa 5 Tausendstel mSv pro Jahr. ¹³⁷Cs trägt dazu etwa 3, ⁹⁰Sr etwa 2 Tausendstel mSv pro Jahr bei. Der Streubereich ist schlecht abzuschätzen, dürfte aber gross sein. Aus Ganzkörpermessungen an Schulklassen aus Genf und Basel ergeben sich Dosen durch inkorporiertes ¹³⁷Cs von deutlich unter 1 Tausendstel mSv pro Jahr. Diese Angaben gelten für den Bevölkerungsdurchschnitt. Für kleine Bevölkerungsgruppen, deren Lebens- und Ernährungsgewohnheiten vom Durchschnitt wesentlich abweichen, dürfte dieser Dosisbeitrag bis 0.1 mSv pro Jahr betragen. Dies wäre beispielsweise der Fall bei einer Person, die täglich 1 l Milch mit der höchsten 1997 gefundenen ¹³⁷Cs-Konzentration von 22 Bq pro Liter konsumiert. Verzehrt jemand pro Woche 200 g Wildpilze mit 600 Bq/kg ¹³⁷Cs (Toleranzwert), so erhält er eine zusätzliche Jahresdosis von 0.09 mSv.

Personen, die täglich 200 g Gemüse von der höchstbelasteten Stelle in der Nähe der Sondermüll-Verbrennungs-Anlage Basel verzehren, erhalten einen zusätzlichen Dosis von 2 Tausendstel mSv pro Jahr durch ¹⁴C. Geringer, aber noch messbar, sind die ¹⁴C-Emissionen des Kernkraftwerkes Leibstadt und des Paul-Scherrer-Institutes in Villigen/AG.

Das Edelgas ⁸⁵Kr, das künstliche Radionuklid mit der höchsten Konzentration in der Luft, verursacht Dosen durch Hautbestrahlung von einigen Tausendstel mSv pro Jahr.

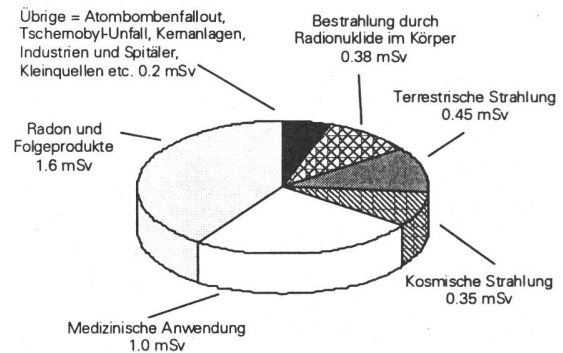
Im Nahbereich von Industriebetrieben führt Tritium in der Luft zu maximal 0.01 mSv pro Jahr. Eine Person, die das Regenwasser dieser Stelle mit 1000 Bq/l als Trinkwasser (2 l/Tag) benutzt, erhält eine zusätzliche Jahresdosis von 0.01 mSv. Der Dosisbeitrag durch Tritium in Milch und Gemüse aus dem Nahbereich des erwähnten, Tritium-verarbeitenden

Betriebes in Niederwangen/BE liegt bei maximal einigen Tausendstel mSv.

Der Beitrag zur **externen Strahlendosis** durch künstliche Radioaktivität kann nur approximativ angegeben werden. Die konservative Annahme von dauerndem Aufenthalt im Freien ergibt zwischen 0.01 und 0.5 mSv pro Jahr. Dieser grosse Streubereich ist eine Folge der regionalen Unterschiede bei der ^{137}Cs -Ablagerung nach dem Reaktorunfall Tschernobyl. Die Schweizer Kernkraftwerke, das PSI und das CERN tragen dazu nicht wesentlich bei. Würde sich jemand während 1 Stunde pro Tag am höchstbelasteten Punkt direkt am Zaun des Kernkraftwerkes Leibstadt aufhalten, müsste er mit einer zusätzlichen Dosis von 0.1 mSv pro Jahr rechnen.

Gesamthaft liegt die Strahlendosis durch **künstliche Radioaktivität** (ohne Radon,

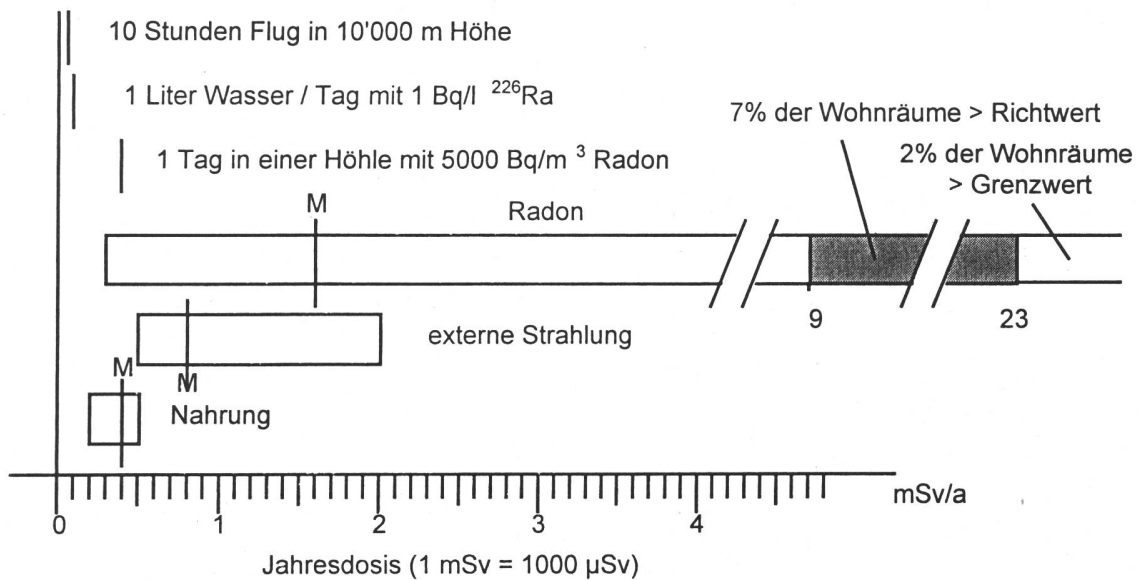
Medizin und Kleinquellen) bei der Mehrheit der Schweizer Bevölkerung zwischen 0.01 und 0.05 mSv pro Jahr, in Einzelfällen bis 0.1 mSv pro Jahr.



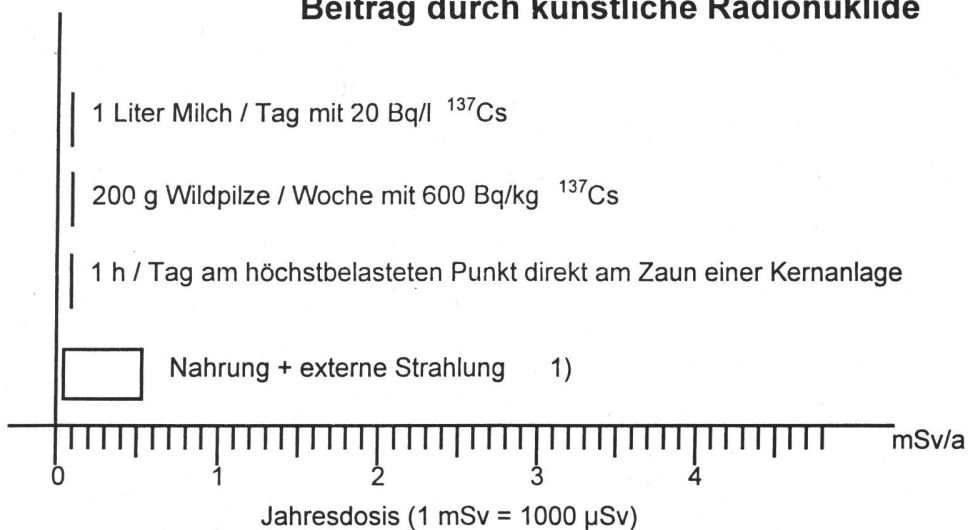
Durchschnittliche Beiträge zur Strahlenexposition

(Gesamtdosis: 4 mSv/Jahr)

Beitrag durch natürliche Radionuklide und kosmische Strahlung



Beitrag durch künstliche Radionuklide



Mittelwerte und Streubereiche der jährlichen Strahlendosen durch natürliche und künstliche Quellen für die Schweizer Bevölkerung für 1997.

M = Mittelwert

1) : Beitrag aus Kernkraftwerken, Forschung und Industrie < 15 $\mu\text{Sv/a}$.

4. Einheiten und Vorschriften

Radioaktivität ist eine Eigenschaft instabiler Atomkerne, sich ohne äussere Einwirkung umzuwandeln (radioaktiver Zerfall) und dabei eine charakteristische (ionisierende) Strahlung in Form von Alpha- oder Beta-Teilchen sowie von Gamma-Quanten auszusenden. Natürliche radioaktive Stoffe kommen in der Umwelt seit jeher vor; künstliche wurden bei Kernwaffenexplosionen freigesetzt, können aber auch aus Kernanlagen, sowie Betrieben und Spitälern, die Radionuklide verarbeiten, stammen.

Die **Radioaktivität** einer Substanz wird in Becquerel (Bq) angegeben. 1 Bq entspricht einem radioaktiven Zerfall pro Sekunde. 10^{-3} , 10^{-6} , 10^{-9} , 10^{-12} bzw. 10^{-15} Becquerel werden mBq, μ Bq, nBq, pBq bzw. fBq (milli-, micro-, nano-, pico- bzw. femto-) geschrieben. Entsprechend werden 10^3 , 10^6 , 10^9 , 10^{12} bzw. 10^{15} als kBq, MBq, GBq, TBq, PBq (kilo-, Mega-, Giga-, Tera- bzw. Peta-) geschrieben. Früher wurde die Einheit Curie (Ci) verwendet ($1 \text{ nCi} = 37 \text{ Bq}$ bzw. oder $1 \text{ Bq} = 27 \text{ pCi}$).

Um das **Strahlenrisiko** der Bevölkerung zu bewerten, wird als Strahlendosis der Bevölkerung die effektive Dosis in mSv oder μ Sv bestimmt. Damit wird berücksichtigt, dass die Organe des Menschen eine unterschiedliche Strahlensensitivität aufweisen und verschiedene Strahlenarten unterschiedlich gefährlich sind. Die effektive Dosis wird folgendemassen bestimmt: Zuerst wird die, oft je nach Bestrahlungsart ganz unterschiedliche, Energiedosis der einzelnen Organe berechnet. Mit der Hilfe von Korrekturfaktoren (man nennt sie Wichtungsfaktoren) wird jede Organdosis auf eine theoretische Ganzkörperdosis umgerechnet, die das gleiche Strahlenrisiko verursacht, wie die Organdosis. Die Ganzkörperdosisanteile, welche auf diese Art für die verschiedenen Organdosen berechnet wer-

den, können nun addiert werden. Als Resultat erhält man die effektive Dosis. Die einzelnen Zwischenstufen (Energiedosis, Äquivalentdosis), sowie die verwendeten Wichtungsfaktoren werden auf Seite C-1 genauer erläutert.

Gemäss **Strahlenschutzverordnung** (StSV) dürfen die Dosen für die Bevölkerung durch zivilisationsbedingte Radioaktivität und Strahlung in der Umwelt, jedoch ohne Radon und medizinische Anwendungen, 1 mSv pro Jahr nicht übersteigen, jene für beruflich strahlenexponierte Personen 20 mSv pro Jahr. Für Luft und Wasser im öffentlich zugänglichen Bereich legt die Verordnung Immissionsgrenzwerte fest, deren Ausschöpfen bei Dauerbelastung über Trinkwasser und Atemluft zu je rund 0.2 mSv pro Jahr führen würde. Für die Direktstrahlung gilt ein Grenzwert von 5 mSv pro Jahr im öffentlich zugänglichen Bereich, bzw. 1 mSv pro Jahr in Wohn-, Aufenthalts- und Arbeitsräumen. Toleranz- und Grenzwerte für Radionuklide in Lebensmitteln werden in der Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe (FIV) publiziert. Für den Strahlenschutz relevant ist der Grenzwert, während der Toleranzwert ein reines Qualitätskriterium, aber noch kein Strahlenrisiko, darstellt. Radioaktive Stoffe dürfen nur kontrolliert an die Umwelt abgegeben werden, wobei von der Bewilligungsbehörde Abgabelimiten festgelegt werden. Diese sind beispielsweise bei den Kernanlagen so gewählt, dass keine Person in der Nahumgebung eine zusätzliche Dosis von mehr als 0.2 mSv pro Jahr erhalten kann. Für Radongas gilt ein Grenzwert für Wohn- und Aufenthaltsräume von 1000 Bq/m^3 . Bei Überschreiten dieser Grenzwerte sind die Gebäude zu sanieren. Bei Neu- oder Umbauten soll ein Richtwert von 400 Bq/m^3 nicht überschritten werden.

A

Synthèse de la radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements en Suisse pour 1997 ¹⁾

H. Völkle

Section de surveillance de la radioactivité (SUER)
Office fédéral de la santé publique, Ch. du Musée 3, 1700 FRIBOURG

Introduction

Ce chapitre présente une synthèse des résultats des mesures de la radioactivité de l'environnement en Suisse et des doses qui en résultent pour la population. Les renvois aux chapitres correspondants de la partie B ou aux rapports antérieurs sont indiqués entre crochets et ceux vers la partie A entre parenthèses.

La première partie porte sur les résultats des mesures environnementales selon le programme décrit au chapitre 1. Ce programme s'échafaude sur les divers compartiments environnementaux dans lesquels se disperse la radioactivité. La deuxième partie se consacre aux mesures de l'exposition externe (débit de dose ambiant). Sur la base de tous ces résultats, le dernier volet précise les doses de rayonnements à la population.

Une surveillance exhaustive dans l'espace et le temps de la radioactivité et des doses de rayonnements qui y sont liées n'est pas possible. Par conséquent, des prélèvements ciblés et des analyses spécifiques sont privilégiés afin de garantir un contrôle qui permette de recenser avec suffisamment de précision les voies principales d'exposition. Cette démarche requiert la connaissance des sources naturelles et artificielles de radioactivité et des phénomènes régissant leur transfert dans l'environnement. Cette connaissance passe par des études complémentaires dépassant souvent le simple cadre

des contrôles de routine, comme les études radioécologiques sur l'accumulation de radionucléides dans les sédiments, l'examen de radionucléides naturels dans l'eau de boisson et l'étude de la diffusion du radon dans le sol.

L'évaluation des doses de rayonnements à la population repose sur les modèles et les facteurs de dose de l'Ordonnance suisse de 1994 sur la Radioprotection (OraP). Elle se base dans ses grandes lignes sur les recommandations de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR). Ces dernières s'appliquent aux personnes, dont le mode de vie, les habitudes alimentaires et le métabolisme correspondent à ceux de la population en moyenne. Néanmoins, des scénarios particuliers du point de vue de la consommation de certains aliments ou de séjour fréquent en des endroits critiques, qui s'en écartent, doivent aussi être pris en considération.

Pour apprécier les doses d'irradiation, des facteurs de risque sont proposés par la CIPR. Ces facteurs tiennent compte de malformations génétiques, du décès ou de la réduction de l'espérance ou de la qualité de vie, suite aux cancers induits par les rayonnements ionisants. Ces données, qui résultent essentiellement des études effectuées sur les survivants des bombes de Hiroshima et Nagasaki, sont à considérer comme des estimations grossières. L'appréciation du risque radio-induit doit également se faire en regard

1) Traduction française: C. Murith, Dr es.sc.

des autres risques de la vie quotidienne. La radioactivité de notre environnement ainsi que les doses d'irradiation à la population de notre pays, attribuables aux sources artificielles de rayonnements, sont toujours restées jusqu'à présent bien en-dessous des limites correspondantes de la réglementation. Le risque associé apparaît donc insignifiant. Par contre le radon dans les habitations, source naturelle de rayonnements, serait probablement à l'origine de quelques pour-cent des cas mortels de cancer du poumon en Suisse.

1. Radioactivité naturelle et artificielle dans l'environnement

1.1. Air

A l'exception du ^{85}Kr et du tritium (^3H), les radionucléides artificiels (^{137}Cs , ^{239}Pu et ^{241}Am) ne sont présents dans l'air qu'en faibles traces [chap. 4.1 et 7.3]; les résultats de l'environnement immédiat des installations nucléaires [chap. 8] ne diffèrent pas de ceux enregistrés hors de leur voisinage. Le ^{85}Kr de vie longue, issu du retraitement du combustible, est présent à l'échelle mondiale en concentration approximative de 1 Bq/m^3 avec une tendance à l'augmentation [chap. 7.1]. Le ^3H présente des valeurs voisines de 10 Bq/m^3 dans l'humidité de l'air à proximité des entreprises utilisant du tritium [chap. 4.1]. Cela correspond à environ 1 pour-cent de la limite d'immission selon l'Ordonnance sur la radioprotection (OraP).

La contribution majeure à la radioactivité dans l'air, à l'extérieur et surtout à l'intérieur des bâtiments, provient du gaz radon d'origine naturelle et de ses produits radioactifs. Ces derniers se déposent dans le poumon avec les particules respirées. Les rayons α émis lors de leur désintégration irradient le tissu pulmonaire et sont susceptibles de déclencher un cancer du poumon. Sur les 25'000 maisons (40'000 mesures) examinées en Suisse jusqu'en 1997, on estime une

concentration moyenne de radon de 80 Bq/m^3 dans les séjours et de 120 Bq/m^3 dans les autres pièces (cave).

Cette moyenne est plutôt surestimée, car les mesures ciblent les régions et les habitations à risque radon accru. La valeur antérieure de 60 Bq/m^3 reste donc utilisée pour l'évaluation de la dose (3.1). Environ 7% des séjours dépassent la valeur directrice de 400 Bq/m^3 et 2 % la valeur limite de 1000 Bq/m^3 [chap.2]. Des assainissements réduisant l'entrée du radon dans l'habitat par le sol sont en cours.

1.2. Précipitations

L'activité tritium de quelques Bq/l domine dans les précipitations, en raison surtout de son utilisation industrielle. La part naturelle cosmogénique est de quelques dixièmes de Bq/l. A ce niveau s'ajoute dans certaines régions jusqu'à 10 Bq/l provenant des industries et des installations nucléaires et jusqu'à plusieurs milliers de Bq/l à proximité immédiate d'entreprises traitant du tritium ou d'incinérateurs de déchets contenant du tritium [chap.4.1, 4.3, 7.1 et 9]. L'OraP fixe à $12'000 \text{ Bq/l}$ la limite d'impact du tritium dans les eaux d'accès public. Pour l'eau potable, la tolérance de l'ordonnance sur les substances étrangères et les composants (OSEC) est de 1000 Bq/l . Les autres radionucléides artificiels, comme le ^{137}Cs ont indiqué dans tous les échantillons mensuels des concentrations inférieures à 0.02 Bq/l , tandis que le ^7Be naturel a montré environ 1 Bq/l [chap.4.1].

1.3. Systèmes aquatiques

Les eaux de surface examinées en 1997 ont signalé des traces de ^{60}Co , ^{134}Cs et ^{137}Cs inférieures en général à 0.02 Bq/l . Des valeurs jusqu'à 0.04 Bq/l ^{137}Cs dans des échantillons du lac de Lugano semblent indiquer une remobilisation de l'activité piégée dans les sédiments. [chap.4.4]. Les procédés très sensibles mis en œuvre pour l'examen des mélanges mensuels prélevés dans l'Aar en aval de la CN de Mühleberg (Rewag) et dans le

Rhin en aval de Bâle (Weil/D) ont permis de dresser un bilan fractionné du ^{60}Co en comparaison des rejets des centrales nucléaires suisses avec une bonne concordance, si l'on excepte le mois de novembre [chap.4.3].

Les analyses de l'eau et des sédiments du lac de Lugano ont renseigné sur le comportement et la sédimentation du ^{137}Cs issu de Tchernobyl. Ainsi l'afflux et l'écoulement en ^{137}Cs se situe à quelques mBq/l et près de 4 GBq ^{137}Cs s'évacuent annuellement du lac. Dans les carottages de sédiments, la contribution Tchernobyl apparaît dans les premiers cm et celle un peu plus faible des essais nucléaires entre 10 et jusqu'à 20 cm [chap.4.4].

La teneur en tritium dans les rivières s'est située comme dans les pluies à quelques Bq/l; seule exception, le Doubs à St Ursanne/Ju avec jusqu'à 44 Bq/l [chap. 4.3 et 7.1]. Les mesures des poissons de l'Aar et du Rhin n'ont signalé aucun impact ni transfert des rejets de radionucléides artificiels.

Les eaux de rejets des stations d'épuration des grandes villes ont indiqué dans des cas isolés quelques Bq/l de ^{131}I attribuables à la médecine nucléaire. La teneur en tritium n'a pas dépassé 100 Bq/l sauf à la STEP de La Chaux-de-Fonds avec jusqu'à 360 Bq/l. Ce tritium provient en grande partie du lavage des fumées des installations d'incinération de déchets. L'écoulement tritium correspondant a représenté en 1997 12 TBq pour un traitement industriel des entreprises de la ville de 294 TBq ^3H [chap. 4.3 et 9].

1.4. Sols

Les sols ont confirmé les différences régionales des teneurs en radionucléides naturels (série de l'uranium et du thorium et ^{40}K) attribuables à la géologie et à l'utilisation d'engrais au potassium. Rapporté au sol sec, le ^{40}K indique des valeurs entre 200 et 600 Bq/kg, les nucléides de la série du ^{232}Th entre 15 et

40 Bq/kg et ceux de la série de l'uranium entre 25 et 60 Bq/kg [chap.3.1 et 5.1].

Les radionucléides artificiels montrent des différences régionales relatives aux retombées des explosions nucléaires des années 60 et de Tchernobyl. L'intensité des dépôts ^{137}Cs , ^{90}Sr et Pu des essais nucléaires est plus importante dans les Alpes, au sud des Alpes et en partie dans le Jura par rapport au Plateau, en corrélation avec les précipitations locales entre 1950 et 1970. Par contre les dépôts dus à Tchernobyl, dont la composante long terme se restreint pratiquement au ^{137}Cs , dépendent avant tout des quantités de précipitations enregistrées début mai 1986. Leur importante variabilité est à l'origine d'une plus grande hétérogénéité. Elle montre des tâches de contamination marquées au Tessin et dans les vallées du sud des Grisons ou isolées du Valais ainsi que dans une moindre mesure sur les reliefs jurassiens et au Nord-est de la Suisse. Rapporté au sol sec, on enregistre en 1997 dans la couche de 0-5 cm encore 10 à 350 Bq/kg ^{137}Cs , 1 à 6 Bq/kg ^{90}Sr et 0.2 à 1.4 Bq/kg ^{239}Pu . On constate pour les sols non remaniés, que l'inventaire des radionucléides artificiels se trouve presque intégralement dans les 20 premiers cm et même dans les 10 premiers cm pour les sols forestiers. Dans certains cas extrêmes, l'accumulation des radionucléides artificiels peut d'ailleurs s'avérer plus forte [chap.3.1, 5.1, 7.2 (^{90}Sr) et 7.3 (Pu et Am)].

Aucun impact des rejets atmosphériques des installations nucléaires suisses n'a été constaté dans le sol, à l'exception des traces rémanentes de quelques Bq/kg de ^{134}Cs , ^{137}Cs et ^{60}Co du rejet de résines radioactives en 1986 à la centrale nucléaire de Mühleberg [chap.8.2 et 8.3].

1.5. Végétaux et aliments

Dans la plupart des échantillons d'herbe et d'aliments de 1997, le ^{40}K naturel domine par rapport aux traces de radionucléides artificiels. Excepté pour le ^{14}C , ces

traces ne proviennent pas des installations ou des centres de recherche nucléaires suisses. Elles témoignent surtout de l'accident de Tchernobyl et des essais nucléaires passés, suite au transfert du ^{137}Cs et du ^{90}Sr depuis le sol vers les plantes par voie racinaire. Par conséquent la distribution régionale de l'activité des plantes reflète celle du sol. En dehors du Tessin et de certaines vallées du sud des grisons et du Valais, les concentrations ^{137}Cs se situent entre 0.5 et 10 Bq/kg dans l'herbe séchée et sont inférieures à 1 Bq/l dans le lait et à 0.9 Bq/kg dans les céréales. Au Tessin et dans les vallées susmentionnées, les valeurs peuvent encore atteindre jusqu'à 82 Bq/kg d'herbe sèche et 22 Bq/l de lait. Pour le ^{90}Sr , les concentrations rapportées à la matière sèche varient sur l'ensemble du territoire de 1.4 à 12 Bq/kg d'herbe, de 0.3 à 0.8 Bq/kg de céréales et 0.03 à 0.45 Bq/kg de lait. Les valeurs ^{90}Sr plus élevées dans les Alpes et en partie au Tessin confirment que ces régions, où la pluviosité annuelle est plus importante, ont été plus fortement marquées par la retombée des essais nucléaires des années 60 que le Plateau suisse [chap.5.1 et 7.2].

La valeur de tolérance pour le ^{137}Cs dans le lait de 10 Bq/l a été dépassée dans un échantillon du Tessin avec 22 Bq/l. Cette concentration est cependant bien en dessous de la valeur limite (applicable même pour nourrissons) de 400 Bq/l. Pour le ^{90}Sr dans le lait, la valeur de tolérance de 1 Bq/l a été respectée dans tous les échantillons [chap.5.1 et 7.2].

Pour le gibier importé, malgré une tendance à la baisse, des concentrations ^{137}Cs encore partiellement accrues ont été enregistrées. Néanmoins 80 pour-cent des échantillons se situent en-dessous de 100 Bq/kg et la valeur de tolérance de 600 Bq/kg n'a été dépassée qu'une seule fois. Pour les champignons du nord des Alpes (pholiotes ridées et bolets bais), un seul dépassement de la valeur de tolérance de 6000 Bq/kg ^{137}Cs (rapportée au poids sec) a été constaté. Près de la moitié des

échantillons a indiqué moins de 100 Bq/kg et aucun n'a dépassé la valeur limite. On note un léger recul de l'activité pour les bolets pied rouge et les pholiotes ridées, qui ne ressort pas encore pour les bolets bais, compte tenu de la grande dispersion des valeurs. L'activité dans tous les champignons importés a été inférieure à la valeur de tolérance et pour 2/3 inférieure à 100 Bq/kg [chap.5.1].

1.6. Carbone-14 dans les plantes

Le ^{14}C est assimilé par les plantes en phase de croissance à partir du CO_2 dans l'air. Au ^{14}C d'origine naturelle estimé à 227 Bq/kg de carbone, s'ajoute celui issu des essais nucléaires. Cette contribution voisine de la part naturelle dans les années 60, en représente aujourd'hui encore 107 pour-mille. Des valeurs accrues jusqu'à 125 pour-mille au-dessus de la valeur de référence ont été mesurées en 1997 dans des feuillages prélevés à proximité de la centrale nucléaire de Leibstadt. Après du réacteur de recherches Saphir de l'Institut Paul-Scherrer, qui n'est plus en service, l'augmentation se situe encore à environ 27 pour-mille [chap.7.1].

Des déchets contenant du ^{14}C provenant de la recherche chimique sont incinérés dans la nouvelle station d'incinération des ordures de la ville de Bâle. Il en résulte une augmentation par rapport à la valeur de référence jusqu'à près de 410 pour-mille dans les échantillons de feuillages avoisinants.

La teneur en ^{14}C naturel des aliments occasionne 0.013 mSv par an. Les augmentations enregistrées au voisinage des réacteurs à eau bouillante ainsi qu'à Bâle sont responsables d'une dose additionnelle de 0.001 à 0.002 mSv par an.

1.7. Corps humain

L'incorporation réaliste des radionucléides avec la nourriture se base sur les mesures gamma (^{137}Cs et ^{40}K) du corps entier et

sur les analyses ^{90}Sr dans les dents de lait et dans les vertèbres. Les mesures du corps entier des collégiens de Bâle et de Genève n'ont signalé aucune activité mesurable de ^{137}Cs , i.e. moins de 27 Bq, tandis que l'activité du ^{40}K dans le corps humain s'étend de 3500 Bq chez les femmes jusqu'à 5000 Bq chez les hommes [chap.6.1]. La teneur en ^{90}Sr atteint au maximum 0.07 Bq $^{90}\text{Sr}/\text{g Ca}$ dans les dents de lait et 0.03 Bq $^{90}\text{Sr}/\text{g Ca}$ dans les os [chap. 6.2].

2. Doses d'irradiation externe

2.1. Rayonnement naturel

L'exposition externe incombe avant tout aux sources naturelles présentes dans le sol et dans les matériaux de construction ainsi qu'au rayonnement cosmique. La grande variabilité régionale du ^{40}K et des séries de l'uranium et du thorium se répercute évidemment sur les débits de dose qui en résultent. Le rayonnement cosmique atténué partiellement par l'atmosphère augmente par conséquent selon l'altitude. Sa contribution ionisante 300 m au-dessus du niveau de la mer représente environ 40 nSv/h, passe à 80 nSv/h à 2000 m pour atteindre jusqu'à 5000 nSv/h à l'altitude de vol de 10'000 m [chap. 3.1].

En Suisse, le débit de dose moyen en plein air est voisin de 100 nSv/h, avec des valeurs comprises entre 40 et 230 nSv/h. A l'intérieur des maisons, le rayonnement cosmique et la radioactivité du sol sont en partie atténués par les structures de construction. Les radionucléides naturels des matériaux de construction constituent par contre une source additionnelle de rayonnements qui surcompense en général cette atténuation. Pour un domaine allant de 50 à 260 nSv/h, la valeur moyenne obtenue à l'intérieur des maisons de 110 nSv/h se situe environ 10% au-dessus de celle en plein air [chap. 3.3, rapport annuel 1996].

2.2. Radioactivité artificielle

La contribution rémanente de l'accident de Tchernobyl d'avril 1986 et des essais atmosphériques des années 60 représente actuellement en général quelques pour-cent de l'exposition externe globale. Certains sites en particulier du Tessin constituent une exception avec des contributions rémanentes pouvant atteindre jusqu'à 30% du débit de dose total [chap.3.1 et 3.2].

Des endroits limitrophes des centrales nucléaires, du PSI et du CERN montrent une influence du rayonnement direct de ces installations de quelques 100 nSv/h. Dans le voisinage facilement accessible au public, cette contribution reste néanmoins faible et n'occasionne pas de doses de rayonnements notables compte tenu du séjour restreint de personnes en ces endroits [chap. 8.3].

La contamination rémanente mentionnée au chapitre 1.4 dans le voisinage de la centrale nucléaire de Mühleberg ne dépasse plus aujourd'hui 3 nSv/h 1 m au-dessus du sol.

2.3. Aeroradiométrie

Les mesures effectuées à bord d'un hélicoptère à l'aide d'un détecteur NaI rendent compte du rayonnement de désintégration du ^{16}N à la verticale de la centrale nucléaire de Leibstadt (CNL) et du rayonnement de l'entrepôt intermédiaire de stockage de déchets radioactifs de l'Institut Paul-Scherrer. Les 2000 nSv/h mesurés 90 m au-dessus de la CNL ne sont pas significatifs pour la population en raison du blindage latéral conséquent de cette source de rayonnement à proximité du sol [chap.3.4].

3. Irradiation de la population

3.1. Radioactivité naturelle

La contribution majeure à la dose d'irradiation de la population provient du radon et de ses descendants radioactifs dans les locaux d'habitation et de travail. Les enquêtes réalisées jusqu'en 1997 en Suisse indiquent une moyenne de 80 Bq/m³; 50% des valeurs sont inférieures à 77 Bq/m³, 93% inférieures à la valeur directrice de 400 Bq/m³ et 98% sont inférieures à la valeur limite de 1000 Bq/m³ [2]. La valeur moyenne mentionnée est surestimée parce que le choix privilégiait les maisons et les régions à risque radon accru. C'est pourquoi, le calcul de la dose se base comme dans le rapport annuel 1996 sur la moyenne de 60 Bq/m³ et sur un séjour moyen de 7000 heures par an dans l'habitation et de 2000 heures par an à la place de travail. L'autre gaz rare thoron, pour lequel il n'existe aucune mesure dans les bâtiments suisses, augmente les valeurs de dose d'environ 10%. Il en résulte ainsi en moyenne une dose annuelle attribuable au radon et au thoron voisine de 1.6 mSv. Dans près de 5% des séjours la dose est supérieure d'un facteur 10 à la moyenne et dans 10% des séjours environ elle est encore 5 fois supérieure. A titre de comparaison une journée passée dans une grotte avec 5000 Bq/m³ correspond approximativement à 0.4 mSv.

Les radionucléides naturels parviennent aussi dans notre corps avec la nourriture et occasionnent des doses annuelles moyennes de l'ordre de 0.36 mSv, surtout dues au ⁴⁰K avec 0.2 mSv. Le domaine de variabilité n'est pas connu, mais le minimum devrait être légèrement inférieure à 0.2 mSv, du fait de la concentration ⁴⁰K quasi constante dans le corps. La consommation quotidienne d'un litre d'eau minérale, contenant 1 Bq/l de ²²⁶Ra, ajouterait une dose proche de 1 mSv/an.

La contribution des radionucléides naturels présents dans le sol à l'irradiation

externe ne peut être évaluée que de manière approximative. Elle dépend fortement des teneurs locales du sol en radionucléides, de l'altitude au-dessus du niveau de la mer et du mode de vie. D'autre part les mesures de dose ambiante indiquent sans distinction la somme des composantes naturelles et artificielles. Grâce à la spectrométrie gamma in situ, il est possible néanmoins, de préciser les contributions individuelles. Ainsi la part naturelle de l'exposition en plein air en Suisse se laisse estimer entre 40 et 90 nSv/h, soit 0.35 à 0.80 mSv/an pour un séjour permanent en plein air.

Il est tout aussi difficile de déterminer la contribution des radionucléides présents dans les matériaux de construction à l'exposition dans les bâtiments. Là aussi, la distinction des différentes composantes passe par des mesures de spectrométrie gamma. De telles mesures sont encore peu nombreuses en Suisse. Celles déjà disponibles montrent en moyenne que la dose à l'intérieur est supérieure d'environ 10% à celle en plein air.

Pour un séjour permanent en plein air, le rayonnement cosmique entraîne environ 0.35 mSv par an à une altitude de 300 m et près de 0.70 mSv par an 2000 m au-dessus du niveau de la mer. Un vol transatlantique contribue à raison de 0.04 à 0.09 mSv. Il en résulte une dose annuelle supplémentaire pour le personnel navigant et pour les usagers fréquents de 2 à 5 mSv.

Un aperçu des mesures de débit de dose sur l'ensemble du territoire suisse est donné dans la partie B [3.1 et 3.3]. Si l'on admet, qu'à ces endroits la contribution de la radioactivité artificielle est faible, i.e. ne représente que quelques pour-cent, on obtient pour l'exposition externe globale, en plein air et à l'intérieur, en moyenne pour la Suisse environ 0.9 mSv/an.

Au total, la **population suisse** est soumise annuellement à près de 2 mSv **d'origine naturelle**, répartis comme suit:

Composante	Moyenne [domaine]:
alimentation:	0.4 [0.2-0.5] mSv
Externe:	0.9 [0.5-2.0] mSv
radon:	1.6 [0.3->20] mSv

Les valeurs >20 mSv concernent 2% des bâtiments.

3.2.Doses par la civilisation

La part prépondérante provient des **applications médicales** (radiodiagnostic et en médecine nucléaire). Une enquête de 1978 sur les doses dues au radiodiagnostic a indiqué des valeurs entre 0 et 30 mSv par an avec une moyenne approximative pour l'ensemble de la population de 1 mSv par an. Une nouvelle enquête est en cours. Concernant la médecine nucléaire, une étude de 1989/90 a donné des valeurs de 0 à 80 mSv, avec en moyenne pour la population 0.04 mSv par an.

Une autre contribution à l'exposition aux rayonnements provient des **sources dites faibles** et est difficile à estimer avec précision. Ce sont des objets courants et des biens de consommation, contenant des radionucléides en faibles quantités, comme les montres à chiffres lumineux au tritium ¹⁾, les carrelages, les manchons à incandescence ou la céramique dentaire renfermant des radionucléides naturels, les détecteurs de fumée à ionisation et le tabac par l'inhalation de polonium-210. Ces sources faibles devraient représenter en moyenne pour la population près de 0.1 mSv par an. Les 62'236 personnes exposées professionnellement aux rayonnements dans les centrales nucléaires, l'industrie, le commerce, les services publics, la recherche et la médecine ont accumulé en 1997, hormis une exception,

des doses n'excédant pas 20 mSv. Leur dose collective est de 8.37 personnes-Sievert. Pour 3% seulement des travailleurs, la dose a dépassé 1 mSv/an, la moyenne se situant à 0.13 mSv/an par personne.

Les radionucléides artificiels incorporés avec la nourriture occasionnent en moyenne en Suisse une **irradiation interne** voisine de 5 millièmes de mSv par an. Le ¹³⁷Cs et le ⁹⁰Sr se répartissent à peu près à part égale cette charge additionnelle. Le domaine de dispersion est difficile à estimer, mais devrait être assez important. Sur la base des mesures du corps entier des classes de Genève et de Bâle, des doses nettement inférieures à 1 millième de mSv par an ont été déterminées. Ces données sont valables pour la population en moyenne. Pour certains groupes de la population, dont le mode de vie et les habitudes alimentaires s'écartent significativement du comportement habituel, cette contribution à la dose pourrait atteindre jusqu'à 0.1 mSv par an. Ce serait par exemple le cas pour une personne, qui consommerait quotidiennement 1 l de lait avec 22 Bq de ¹³⁷Cs par litre, la concentration la plus élevée en 1997. Autre exemple, une personne qui ingère hebdomadairement 200 g de champignons avec 600 Bq/kg ¹³⁷Cs (valeur de tolérance) recevrait une dose supplémentaire de 0.09 mSv par an.

Des citoyens, qui mangent journallement 200 g de légumes cultivés à l'endroit le plus marqué du voisinage de la station d'incinération des ordures de Bâle, incorporent en raison du ¹⁴C une dose additionnelle de 2 millièmes de mSv par an. Cette contribution des émissions de ¹⁴C, est plus faible, mais également mesurable au voisinage de la centrale nucléaire de Leibstadt et de l'Institut Paul-Scherrer à Villigen/AG.

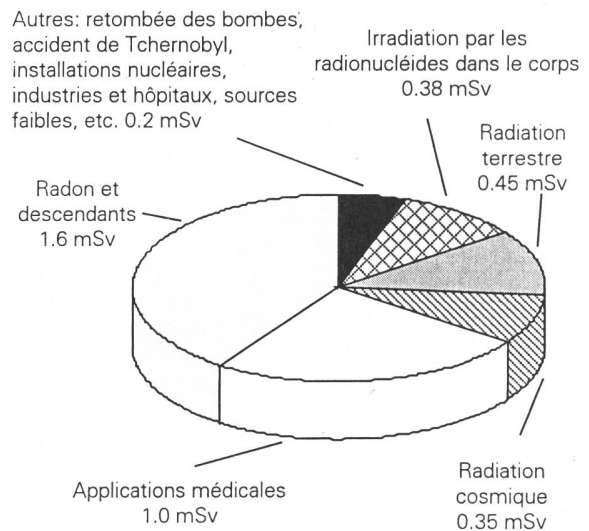
Le gaz ⁸⁵Kr, radionucléide artificiel de plus forte concentration dans l'air, entraîne des doses par irradiation de la peau de quelques millièmes de mSv par an.

1) Une tendance se dégage cependant en faveur du renoncement au tritium pour les montres, compte tenu de l'utilisation actuelle de substances phosphorescentes, dont la luminosité est plus durable.

A proximité de certaines entreprises industrielles, le tritium dans l'air contribue au maximum à 0.01 mSv par an. Une personne, qui utiliserait l'eau de pluie d'une station avec 1000 Bq/l ^3H comme eau potable à raison de 2 l/jour, perçoit une dose annuelle ajoutée de 0.01 mSv. La contribution à la dose due au tritium dans le lait et les légumes du voisinage de l'entreprise mentionnée à Niederrangen/BE traitant du tritium se situe au maximum à quelques millièmes de mSv.

La contribution de la radioactivité artificielle à **l'irradiation externe** ne peut être estimée que de façon approximative. L'hypothèse pénalisante de séjour permanent en plein air implique entre 0.01 et 0.5 mSv par an. Cette grande dispersion incombe aux différences régionales du dépôt ^{137}Cs consécutif à l'accident de Tchernobyl. Les centrales nucléaires suisses, le PSI et le CERN ne contribuent pas de façon significative à cette irradiation. Une personne séjournant 1 heure par jour à l'endroit le plus exposé de la clôture de la centrale nucléaire de Leibstadt recevrait une dose additionnelle de 0.1 mSv par an.

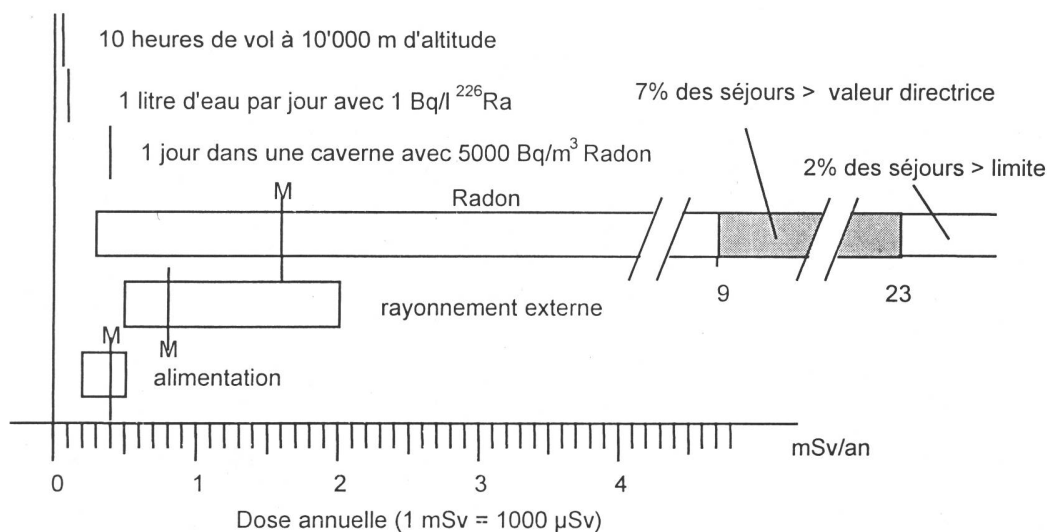
L'irradiation globalement attribuable à la **radioactivité artificielle** (sans la médecine ni les faibles sources) représente pour la majorité de la population suisse entre 0.01 et 0.05 mSv par an, et pour des individus isolés jusqu'à 0.1 mSv par an.



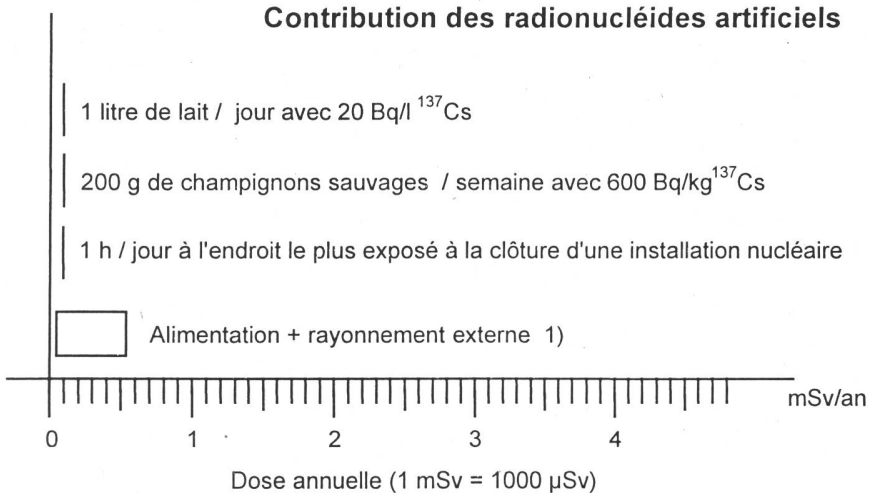
Contributions moyennes à l'exposition aux rayonnements

(Dose globale: 4 mSv/an)

Contribution des radionucléides naturels et du rayonnement cosmique



Contribution des radionucléides artificiels



Moyennes et dispersion des doses annuelles dues aux sources de rayonnements naturelles et artificielles pour la population suisse pour 1997.

M = Moyenne

1) : Contribution des centrales nucléaires, de la recherche et de l'industrie < 0.015 mSv/an.

4. Unités et prescriptions

La radioactivité est une propriété des atomes instables de modifier leur noyau (désintégration radioactive) lors de leur transition vers un état de plus grande stabilité en émettant un rayonnement (ionisant) caractéristique sous la forme de particules alpha ou bêta ainsi que de photons gamma. La radioactivité naturelle fait depuis toujours partie de notre environnement. La radioactivité artificielle est libérée lors des explosions d'armes nucléaires, mais peut aussi provenir des installations nucléaires ainsi que des industries et des hôpitaux qui manipulent des radionucléides.

La radioactivité d'une substance s'exprime en Becquerel (Bq). 1 Bq correspond à une désintégration par seconde. 10^{-3} , 10^{-6} , 10^{-9} , 10^{-12} resp. 10^{-15} Becquerel s'écrivent mBq, μ Bq, nBq resp. pBq (milli-, micro-, nano-, pico- resp. femto-). De même 10^3 , 10^6 , 10^9 , 10^{12} resp. 10^{15} Becquerel sont notés kBq, MBq, GBq resp. TBq (kilo-, Mega-, Giga-, Tera- resp. Peta-). Dans le passé, l'unité Curie (Ci) était couramment utilisée ($1 \text{ nCi} = 37 \text{ Bq}$ resp. $1 \text{ Bq} = 27 \text{ pCi}$).

Pour apprécier **le risque lié aux rayonnements** envers la population, on détermine la dose efficace en mSv ou en μ Sv. Cette grandeur tient compte de la sensibilité spécifique des organes humains et de la nocivité particulière des différents types de rayonnements. La dose efficace se détermine comme suit : en premier lieu on calcule la dose absorbée, i.e. l'énergie cédée dans l'organe cible. A l'aide de facteurs de pondération, les doses aux différents organes sont converties en doses au corps entier impliquant le même risque. La somme de ces doses équivalentes au corps entier représente la dose efficace. Ces différentes étapes ainsi que les facteurs de pondération correspondants sont précisés à la page C-2.

Conformément à **l'ordonnance sur la radioprotection** (ORaP), les doses à la population liées à la radioactivité de l'environnement et à la civilisation - à l'exclusion toutefois du radon et des applications médicales - ne doivent pas dépasser 1 mSv par an et celles aux personnes exposées professionnellement 20 mSv par an. Pour l'air et l'eau du domaine public, l'ordonnance fixe des limites d'impact, dont l'épuisement pour une charge permanente de l'eau potable et de l'air entraînerait chacun 0.2 mSv par an. Le rayonnement direct ne doit pas donner lieu en dehors de l'enceinte de l'entreprise à des doses ambiantes excédant, par année, 1 mSv dans les locaux d'habitation, de séjour et de travail et 5 mSv dans tout autre endroit public. Des valeurs limites et de tolérance pour les radionucléides dans les denrées alimentaires sont publiées dans l'ordonnance sur les substances étrangères et les composants (OSEC). Du point de vue de la radioprotection, la valeur limite est essentielle, tandis que la valeur de tolérance traduit simplement un critère de qualité, qui ne signifie cependant aucun risque radiologique. L'émission de substances radioactives se fait de manière contrôlée dans l'environnement, selon les limites de rejets fixées par les autorités qui délivrent l'autorisation. A titre d'exemple, les limites de rejets pour les installations nucléaires sont fixées de sorte qu'aucun riverain ne puisse recevoir une dose additionnelle supérieure à 0.2 mSv par an. Pour le gaz radon, une valeur limite de 1000 Bq par m^3 s'applique aux locaux d'habitation et aux séjours. En cas de dépassement de cette valeur limite, les bâtiments doivent être assainis. Pour les constructions nouvelles ou celles en transformation, une valeur directrice de 400 Bq/m^3 ne doit pas être dépassée.

A

Radioattività dell'ambiente e dosi d'irradiazione in Svizzera nel 1997. Riassunto ¹⁾

H. Völkle

Sezione sorveglianza della radioattività (SUER)
Ufficio federale della sanità pubblica, Chemin du Musée 3, 1700 FRIBOURG

Introduzione

In questo capitolo si trovano riassunti gli esiti della sorveglianza della radioattività ambientale e le dosi d'irradiazione della popolazione che ne derivano. I rinvii tra parentesi quadre si riferiscono ai capitoli corrispondenti della parte B o di rapporti annuali del passato, quelli tra parentesi tonde alla parte A.

Nella prima parte del riassunto si presentano gli esiti delle misure operate nell'ambiente conformemente al programma descritto nel capitolo 1, ripartiti secondo gli ecosistemi nei quali la radioattività si diffonde. Nella seconda parte sono indicate le misure relative all'irradiazione esterna (intensità della dose ambiente), nella terza si spiega quali dosi d'irradiazione ne derivano per la popolazione.

Non è possibile controllare sempre e dovunque la radioattività e le dosi d'irradiazione. Bisogna perciò stabilire i programmi di misura, i punti di prelievo dei campioni e i procedimenti d'analisi in modo tale da ottenere una quantità di dati che consenta di determinare con sufficiente certezza le principali vie di diffusione della radioattività. Per questo è necessario conoscere bene le fonti naturali e artificiali della radioattività, nonché i modi di trasporto e di arricchimento nell'ambiente. Questo è possibile soltanto se le analisi dei laboratori non si limitano alla sorveglianza abituale, ma

includono anche progetti di ricerca, come ad esempio ricerche sull'accumulazione di radionuclidi nei sedimenti, sulla presenza di radionuclidi naturali nell'acqua potabile o sulla diffusione del radon nel suolo.

Il calcolo delle dosi d'irradiazione della popolazione si fonda sui modelli e sui fattori di dose ritenuti nell'Ordinanza sulla radioprotezione (ORaP) del 1994, che si riferisce a sua volta alle raccomandazioni della Commissione internazionale di radioprotezione (ICRP). Queste raccomandazioni riguardano persone le cui abitudini alimentari e di vita e il cui metabolismo corrispondono alla media della popolazione. Il consumo superiore alla media di determinati prodotti alimentari o il soggiorno frequente in luoghi particolarmente esposti a radiazioni (ad esempio in grotte o in montagna) sono perciò fattori da considerare addizionalmente.

L'ICRP propone fattori di rischio applicabili per la valutazione delle dosi d'irradiazione che tengono in considerazione tanto il rischio di malformazioni genetiche quanto il rischio di morte o di riduzione della durata o della qualità di vita per cancro dovuto a radiazioni ionizzanti. Queste indicazioni si fondano essenzialmente su ricerche svolte sui superstiti dei bombardamenti di Hiroshima e Nagasaki e devono considerarsi valori di stima assai approssimativi. Per valutare il rischio d'irradiazione bisogna paragonarlo agli altri rischi della vita quotidiana. Nel nostro Paese, i

1) Traduzione italiana: Claudia Forni-Degkwitz, Bülach

valori della radioattività ambientale e le dosi d'irradiazione della popolazione da fonti di radioattività artificiali sono finora sempre stati parecchio inferiori ai relativi limiti legali e il rischio d'irradiazione che ne deriva è quindi irrilevante. Diversa è la situazione per quanto concerne il radon, fonte radioattiva naturale. Il radon nei locali abitati è probabilmente responsabile di alcuni casi su cento delle morti per cancro ai polmoni in Svizzera.

1. Radioattività naturale e artificiale nell'ambiente

1.1. Aria

Ad eccezione del ^{85}Kr e del ^3H (tritio), i radionuclidi artificiali (^{137}Cs , ^{239}Pu e ^{241}Am) sono accertabili nell'aria soltanto ancora in tracce minime [cap. 4.1 e 7.3 (Pu e Am)]; questo vale anche nei pressi degli impianti nucleari [cap. 8]. Il ^{85}Kr , radionuclide di lunga durata proveniente dalla rigenerazione di combustibile nucleare e presente in concentrazioni di circa 1 Bq/m^3 , si diffonde in tutto il mondo con tendenza all'aumento [cap. 7.1]. Nelle immediate vicinanze di aziende di lavorazione del tritio si riscontrano valori di circa 10 Bq/m^3 di ^3H nell'umidità dell'aria [cap. 4.1]. Questo corrisponde all'uno per cento circa del valore limite d'immissione secondo d'Ordinanza sulla radioprotezione (ORaP).

All'aperto e ancor più negli edifici, la parte principale della radioattività nell'aria proviene dal gas nobile naturale radon e dai suoi discendenti radioattivi. Attraverso la respirazione, questi radionuclidi penetrano e si sedimentano con gli aerosol nei polmoni; le particelle alfa sprigionate durante il loro decadimento irradiano il tessuto polmonare e possono causare il cancro ai polmoni. Nelle 25'000 case svizzere sottoposte a misura fino al 1997 (40'000 valori di misura), la concentrazione media del radon è di circa 80 Bq/m^3 nei locali abitati e di 120 Bq/m^3 negli altri locali (cantina). Nel 7 per cento circa dei locali abitati, la concentrazione misurata supera

il limite operativo di 400 Bq/m^3 , nel 2 per cento il limite di 1000 Bq/m^3 [cap. 2]. Poiché le misure si sono svolte apposta in regioni con rischio di radon e in edifici dove si sospettavano concentrazioni elevate, la media calcolata è superiore a quella effettiva (3.1); continueremo perciò ad applicare come in passato il valore di 60 Bq/m^3 . Sono in corso risanamenti, volti soprattutto a ostacolare la penetrazione del radon dal suolo nelle case.

1.2. Precipitazioni

Nelle precipitazioni predomina l'attività del ^3H (tritio), presente attualmente in concentrazioni di pochi Bq/l e proveniente principalmente da applicazioni industriali. La parte naturale, il tritio di origine cosmica, ammonta a pochi decimi di Bq/l. Sul piano regionale si aggiungono a questa concentrazione di base fino a circa 10 Bq/l provenienti dagli impianti nucleari e da aziende industriali, mentre sul piano locale, nelle immediate vicinanze di aziende di lavorazione del tritio o di impianti di combustione di scorie contenenti tritio, si possono osservare valori massimi di alcune migliaia di Bq/l [cap. 4.1, 4.3, 7.1 e 9]. Il limite d'immissione del tritio nelle acque pubblicamente accessibili conformemente all'ORaP è di $12'000 \text{ Bq/l}$. Il valore di tolleranza per le acque potabili (secondo l'Ordinanza sulle sostanze estranee e sui componenti nelle derrate alimentari OEC) è di 1000 Bq/l . In tutti i campioni di prelievo mensili, gli altri radionuclidi artificiali, ad esempio il ^{137}Cs , erano presenti in concentrazioni inferiori a 0.02 Bq/l , mentre la concentrazione del ^7Be , di origine naturale, ammontava a circa 1 Bq/l [cap. 4.1].

1.3. Acque

Nelle acque di superficie si sono trovate nel 1997 soltanto tracce di ^{60}Co , ^{134}Cs e ^{137}Cs , con un'attività solitamente inferiore a 0.02 Bq/l . Valori fino a 0.04 Bq/l ^{137}Cs sono stati riscontrati unicamente in campioni d'acqua Ceresio, indice di un riscioglimento dell'attività contenuta nei sedimenti [cap. 4.4]. Campioni d'acqua

misti, prelevati sull'arco di un mese dall'Aar a valle della centrale nucleare di Mühleberg (Rewag) e dal Reno dopo Basilea /Weil/D), sono stati esaminati con procedure più sensibili. Gli esiti di queste misure permettono di allestire un bilancio delle quantità di ^{60}Co trasportate ogni mese e di confrontarle con le emanazioni liquide delle centrali nucleari svizzere. Ad eccezione del mese di novembre, i valori corrispondono bene. [cap. 4.3].

Dall'esame delle acque e dei sedimenti del Ceresio si possono trarre conclusioni sull'afflusso, deflusso e deposito nei sedimenti del ^{137}Cs proveniente dall'incidente nel reattore di Cernobil. Il contenuto di ^{137}Cs negli affluenti ed emissari è di pochi mBq/l; ogni anno circa 4 GBq ^{137}Cs defluiscono dal Ceresio. Nelle carote di sedimenti prelevate si possono distinguere i contributi di Cernobil (a pochi centimetri di profondità) e, meno nettamente, quello degli esperimenti con armi nucleari a un profondità di dieci a venti centimetri [cap. 4.4].

L'acqua fiumana, come le precipitazioni, conteneva alcuni Bq/l di tritio. Costituisce un'eccezione il Doubs presso St. Ursanne/JU, dove la concentrazione raggiunge valori fino a 44 Bq/l [cap. 4.3 e 7.1]. Misure operate sui pesci nell'Aar e nel Reno non hanno fornito indizi d'immissione di radionuclidi artificiali.

In alcuni casi si sono trovati nelle acque di scolo degli impianti di depurazione delle grandi città piccole quantità di ^{131}I (pochi Bq/l al massimo) provenienti dalla medicina nucleare. Il contenuto di tritio ammontava al massimo a 100 Bq/l, con una sola eccezione: presso l'impianto di depurazione delle acque di La Chaux-de-Fonds si sono riscontrati valori fino a 360 Bq/l. Questo tritio proviene soprattutto dal gorgogliatore di lavaggio del gas combusto dell'impianto di incenerimento dei rifiuti della regione. Il deflusso annuale di tritio dall'impianto di depurazione delle acque nel 1997 è stato di 12 TBq; nelle aziende

della città sono stati lavorati 294 TBq ^3H [cap. 4.3 e 9].

1.4. Suolo

I campioni di suolo continuano a presentare notevoli variazioni regionali, dovute a differenze geologiche per quanto riguarda i radionuclidi naturali delle catene di decadimento dell'urano e del torio e all'uso di concimi potassici per quanto concerne il ^{40}K , anch'esso naturale. Riferita al materiale secco, la concentrazione del ^{40}K oscilla tra 200 e 600 Bq/kg quella dei radionuclidi della catena di decadimento del ^{232}Th tra 15 e 40 Bq/kg, quella della catena dell' ^{238}U tra 25 e 60 Bq/kg [cap. 3.1 e 5.1].

Le differenze regionali di concentrazione dei radionuclidi artificiali derivano dalle sedimentazioni della radioattività dovuta alle esplosioni in superficie di armi nucleari degli anni sessanta e dall'incidente nel reattore di Cernobil. Le prime sono durate dagli anni cinquanta fino agli anni settanta e la loro distribuzione regionale rispecchia la ripartizione quantitativa delle precipitazioni. La concentrazione di questi sedimenti di ^{137}Cs , ^{90}Sr e Pu è perciò più elevata nelle Alpi e a Sud delle Alpi (in parte anche nel Giura) che nell'Altopiano. La sedimentazione di radioattività dopo l'incidente di Cernobil nel maggio del 1986 è invece durata soltanto una a due settimane e, per quanto riguarda i radionuclidi di lunga durata, si è limitata essenzialmente al ^{137}Cs , mentre lo ^{90}Sr si aggira soltanto sull'uno per cento dell'attività totale depositata nell'Europa occidentale. Per effetto delle diverse quantità di precipitazioni registrate durante quel periodo, la parte dovuta a Cernobil è ripartita in modo assai più eterogeneo che quella derivante dalle ricadute delle bombe atomiche. Ne sono stati particolarmente colpiti il Ticino e le valli grigionesi a sud delle Alpi, nonché, in misura minore, il Giura e parti della Svizzera nord-orientale. Sommate, le ricadute delle armi nucleari e di Cernobil causano nel suolo attività, riferite al peso della materia secca, comprese tra 10 e

350 Bq/kg per il ^{137}Cs , tra 1 e 6 Bq/kg per lo ^{90}Sr 1 e tra 0.2 e 1.4 Bq/kg per il ^{239}Pu . La maggior parte di questa radioattività artificiale si trova ancora in uno strato di 20 cm dalla superficie del terreno, nel caso di un terreno boschivo ticinese, addirittura nei primi 10 cm. In casi estremi, l'arricchimento di radionuclidi artificiali può anche essere superiore [cap. 3.1, 5.1, 7.2 (^{90}Sr) e 7.3 (Pu e Am)].

Con una sola eccezione, non si è costatato, nel suolo, alcun influsso delle emissioni di centrali nucleari. Presso la centrale nucleare di Mühleberg si sono accertate tracce di alcuni Bq/kg ^{134}Cs , ^{137}Cs e ^{60}Co , proveniente dall'emissione di resine radioattive attraverso l'aria di ventilazione nel 1986 [cap. 8.2 e 8.3].

1.5. Piante e derrate alimentari

Nella maggior parte dei prelievi di erba e derrate alimentari il ^{40}K era predominante rispetto ai radionuclidi artificiali. Tranne per quanto riguarda il ^{14}C , queste tracce non provengono da centrali nucleari o impianti di ricerca svizzeri. Si tratta essenzialmente del ^{137}Cs originato nell'incidente del reattore di Cernobil e durante gli esperimenti in superficie con armi nucleari che le piante hanno assorbito dal suolo attraverso le radici. La ripartizione regionale della radioattività corrisponde quindi a quella nel suolo (v. sopra). All'infuori del Ticino e delle valli grigionesi a sud delle Alpi, i valori del ^{137}Cs nell'erba sono compresi tra 0.5 e 10 Bq/kg di materia secca; nel latte sono inferiori a 1 Bq/l e nei cereali inferiori a 0.9 Bq/kg. Nel Ticino e nelle valli grigionesi a sud delle Alpi si riscontrano invece ancora valori fino a 82 Bq/kg di materia secca nell'erba e fino a 22 Bq/l nel latte. Per quanto riguarda lo ^{90}Sr , i valori sono compresi in tutta la Svizzera tra 1.4 e 12 Bq/kg nell'erba, tra 0.03 e 0.45 Bq/kg nel latte e tra 0.3 e 0.8 Bq/kg di materia secca nei cereali. Nelle Alpi e in parte anche nel Ticino, i valori dello ^{90}Sr sono leggermente più elevati che nel resto della Svizzera. Questo fatto conferma l'ipotesi che queste regioni con

forti precipitazioni sono state colpite più che l'Altopiano dalle ricadute degli anni sessanta [cap. 5.1 e 7.2].

Il valore di tolleranza del 10 Bq/l ^{137}Cs è stato superato in un campione di latte del Ticino che presentava una concentrazione di 22 Bq/l. Il valore limite, anche quello di 400 Bq/l applicabile all'alimento iniziale per lattanti, non è tuttavia mai stato raggiunto. La concentrazione dello ^{90}Sr nel latte non ha superato in alcun caso il valore di tolleranza di 1 Bq/l [cap. 5.1 e 7.2].

La concentrazione di ^{137}Cs nella selvaggina importata resta in parte elevata. Nell'80 per cento dei campioni era tuttavia inferiore a 100 Bq/kg e in un solo caso ha superato il valore di tolleranza di 600 Bq/kg. In uno dei campioni di funghi del Nord delle Alpi (boleti dei castagni, altri boleti e agarici rugosi), la concentrazione di ^{137}Cs era superiore al valore di tolleranza di 6000 Bq/kg di materia secca; quasi la metà presentava concentrazioni inferiori a 100 Bq/kg e nessuno era superiore al valore limite. Mentre un calo graduale della concentrazione è accertabile nei boleti dorati (*xerocomus chrysenteron*) e negli agarici rugosi (*rozites caperata*), il margine di variazione dei valori riscontrati nei boleti dei castagni (*xerocomus badius*) è ancora troppo ampio per consentire affermazioni analoghe. I campioni di funghi importati erano tutti inferiori al valore di tolleranza e per due terzi inferiori a 100 Bq/kg [cap. 5.1].

1.6. Carbonio -14 nelle piante

Il ^{14}C è assorbito dalle piante per assimilazione del CO_2 dell'aria durante la fase di crescita. Ai 227 Bq ^{14}C per kg di carbonio presenti per natura nelle piante si aggiunge il contributo degli esperimenti svolti con le armi nucleari. Negli anni sessanta, questa parte equivaleva a quella naturale, oggi ne comporta circa il 107 per mille. Nel 1997 si sono trovate in foglie di alberi colte nelle vicinanze della centrale nucleare di Leibstadt concentrazioni fino al 125 per mille superiori al valore di riferimento. Presso il reattore di ricerca fuori

esercizio Saphir dell'Istituto Paul Scherrer l'aumento è ancora del 27 per mille circa [cap. 7.1].

Nel nuovo impianto d'incenerimento dei rifiuti speciali della città di Basilea si bruciano, tra altro, rifiuti provenienti dalla ricerca chimica e contenenti ^{14}C . Nei campioni di foglie d'alberi prelevati presso l'impianto ne risulta un superamento del valore di riferimento che può raggiungere anche il 410 per mille.

Il contenuto di ^{14}C naturale nelle derrate alimentari causa una dose d'irradiazione di 0.013 mSv per anno. Gli aumenti della concentrazione misurati nei pressi di reattori ad acqua bollente e a Basilea danno origine a una dose addizionale di 0.001-0.002 mSv per anno.

1.7. Organismo umano

Per mezzo di misure dell'intero organismo e analisi del contenuto di ^{90}Sr nei denti di latte e nelle vertebre si determina la radioattività effettivamente assorbita con l'alimentazione. Da misure del corpo intero svolte su due classi di liceali di Basilea e Ginevra risulta che l'attività del ^{137}Cs non è più misurabile, ossia inferiore a 27 Bq, mentre quella del ^{40}K naturale nell'organismo umano è compresa tra 3500 Bq (donne) e 5000 Bq (uomini) [cap. 6.1]. Il contenuto massimo di ^{90}Sr nei denti di latte è stato di 0.07 Bq $^{90}\text{Sr}/\text{g Ca}$, nelle ossa di 0.03 Bq $^{90}\text{Sr}/\text{g Ca}$ [cap. 6.2].

2. Dosi d'irradiazione esterna

2.1. Radiazione naturale

La maggior parte della radiazione esterna proviene da fonti naturali nel suolo e nei materiali di costruzione, nonché dalla radiazione cosmica. Poiché la concentrazione di ^{40}K e dei nuclidi delle catene dell'urano e del torio è soggetta a notevoli variazioni regionali, anche l'intensità della dose che ne deriva differisce considerevolmente da una regione all'altra. La

radiazione cosmica, parzialmente attenuata dall'atmosfera, aumenta fortemente con l'altitudine. A 300 m.s.m il suo contributo alla dose ambiente è di circa 40 nSv/h, a 2000 m.s.m di 80 nSv/h e all'altezza di un aeroplano in volo, a 10'000 m.s.m., sale a 5000 nSv/h [cap. 3.1].

In media, l'intensità di dose all'aperto in Svizzera è di 100 nSv/h, con valori che oscillano tra 40 e 230 nSv/h. All'interno delle case, la radiazione cosmica e il contributo della radioattività nel suolo sono in parte attenuati dall'involucro dell'edificio. I radionuclidi naturali contenuti nel materiale di costruzione causano tuttavia una radiazione supplementare che, il più delle volte, supera questo effetto schermante. L'intensità di dose media in casa è perciò del 10 per cento circa superiore a quella all'aperto e ammonta in media a 110 nSv/h, con valori compresi tra 50 e 260 nSv/h [Rapporto 1996: cap. 3.3].

2.2. Radioattività artificiale

Il contributo tuttora sussistente dell'incidente nel reattore di Cernobil nell'aprile del 1986 e degli esperimenti in superficie con armi nucleari durante gli anni sessanta ammonta attualmente a una piccola percentuale dell'intensità di dose esterna complessiva. Costituisce un'eccezione il Ticino, dove questa quota sale fino al 30 per cento [cap. 3.1 e 3.2].

In pochi punti immediatamente adiacenti al recinto delle centrali nucleari, dell'IPS e del CERN si sono misurati valori fino ad alcune centinaia di nSv/h, dovuti alle radiazioni dirette. Nelle vicinanze più facilmente accessibili, questo contributo è tuttavia modesto e, vista la breve permanenza delle persone in questi luoghi, non influisce considerevolmente sulla dose d'irradiazione [cap. 8.3].

I residui di fuoriuscite avvenute in passato presso al centrale nucleare di Mühleberg, che abbiamo già menzionato nel capitolo 1.4, causano attualmente, a 1m sopra la

superficie del terreno, ancora 3 nSv/h al massimo.

2.3. Aeroradiometria

Con misure svolte per mezzo di uno spettrometro a bordo di un elicottero (aeroradiometria con rivelatore NaI), si sono potute misurare bene le radiazioni provenienti dal decadimento del ^{16}N della centrale nucleare di Leibstadt (CNL) e quelle del deposito intermedio di scorie radioattive dell'Istituto Paul Scherrer (IPS). I 2000 nSv/h misurati 90 m sopra la CNL non sono tuttavia di rilievo per la popolazione, dato che vicino al suolo la fonte radioattiva è protetta da buoni schermi laterali [cap. 3.4].

3. Dosi d'irradiazione della popolazione

3.1. Radioattività naturale e radiazione cosmica

Il contributo più ingente deriva dal radon e dai prodotti del suo decadimento nei locali d'abitazione e di lavoro. Le misure svolte in Svizzera fino al 1997 hanno dato gli esiti seguenti: media 80 Bq/m³, 50 per cento dei valori inferiori a 77 Bq/m³, 93 per cento inferiori al limite operativo di 400 Bq/m³ e 98 per cento inferiori al limite di 1000 Bq/m³ [2]. Poiché gli edifici e le regioni oggetto di misura sono stati scelti proprio per la concentrazione di radon che vi si prevedeva, la media indicata rappresenta una stima eccessiva delle circostanze reali. Il calcolo della dose si fonda perciò, come nel rapporto annuale del 1996, su un valore ipotetico di 60 Bq/m³. Si è inoltre tenuto conto di una permanenza di 7000 ore all'anno nei locali abitati e di 2000 ore all'anno sul posto di lavoro. Il contributo dell'altro gas nobile radioattivo di origine naturale, il toron, la cui concentrazione nei locali abitati non è ancora stata misurata in Svizzera, accresce la dose del 10 per cento circa. Si ottiene così una dose annua media dovuta al radon e al toron di circa 1.6 mSv. Nel 5 per cento dei locali, la

dose supera tuttavia il decuplo di questa media, nel 10 per cento ne comporta almeno il quintuplo. A titolo di confronto: un giorno di permanenza in una caverna con 5000 Bq/m³ causa una dose di circa 0.4 mSv.

I radionuclidi naturali che penetrano nell'organismo umano attraverso l'alimentazione vi causano una dose annuale media di circa 0.36 mSv; il contributo maggiore è quello del ^{40}K con 0.2 mSv. Il margine di variazione non è noto, ma il minimo è probabilmente leggermente inferiore a 0.2 mSv, dato che la concentrazione del ^{40}K nell'organismo è piuttosto costante. Il consumo giornaliero di un litro d'acqua minerale contenente 1 Bq/l ^{226}Ra indurrebbe una dose addizionale di 0.1 mSv/a circa.

Sul contributo alla radiazione esterna dei radionuclidi naturali presenti nel suolo si possono formulare soltanto stime approssimative. Questo contributo dipende infatti in ampia misura dal contenuto locale di radionuclidi nel suolo, dall'altitudine sul livello del mare e dalle abitudini di vita. Dalle misure delle dosi ambiente risulta inoltre soltanto la somma delle componenti naturali e artificiali. Le misure in situ con lo spettrometro gamma consentono di riconoscere i singoli contributi alla dose ambiente. In Svizzera, la parte naturale oscilla tra 40 e 90 nSv/h circa; in caso di permanenza continua all'aperto, questo corrisponderebbe a una dose annuale di 0.35 a 0.80 mSv.

Altrettanto difficile è stimare il contributo dei radionuclidi naturali contenuti nei materiali di costruzione alla dose d'irradiazione subita all'interno degli edifici. Soltanto le misure con lo spettrometro gamma consentono di distinguere tra componenti naturali e artificiali. In Svizzera si sono svolte finora soltanto poche misure di questo tipo. La dose d'irradiazione all'interno degli edifici supera probabilmente quella all'aperto del 10 per cento circa.

A 300 m.s.m, la radiazione cosmica causa, in caso di permanenza continua all'aperto, una dose annuale di circa 0.35 mSv, a 2000 m.s.m., di circa 0.70 mSv. Da un volo dall'Europa all'America del Nord risulta una dose di 0.04 a 0.09 mSv circa. Il personale di volo e le persone che volano spesso possono subire una dose addizionale annua d'irradiazione cosmica di 2 a 5 mSv.

Un compendio delle misure dell'intensità di dose in tutta la Svizzera si trova nella parte B [3.1 e 3.3]. Supponendo che la parte della radioattività artificiale in questi punti di misura sia piccola, ossia di pochi punti percentuali, la dose media d'irradiazione esterna da fonti naturali all'aperto e negli edifici che ne risulta per la Svizzera è di circa 0.9 mSv per anno.

Complessivamente, la dose annuale d'irradiazione della **popolazione** svizzera da **fonti** naturali ammonta a circa 2.9 mSv ripartiti come segue tra le diverse componenti (tra parentesi: margine di variazione): alimentazione 0.4 [0.2 – 0.5], radiazione esterna 0.9 [0.5 – 2.0], radon 1.6 [0.3 – >20 nel 2 per cento delle case].

3.2. Dosi d'irradiazione d'origine antropogena

Il contributo più importante è quello delle **applicazioni** mediche: radiodiagnosi e medicina nucleare. Da una rilevazione delle dosi dovute alla radiodiagnosi nel 1978 sono risultati valori individuali compresi tra 0 e 30 mSv per anno; la media approssimativa per la popolazione nel suo insieme è di 1 mSv all'anno. Una nuova rilevazione è attualmente in corso. Per quanto riguarda la medicina nucleare, da una ricerca svolta nel 1989/90 sono risultati valori individuali fino a 80 mSv, con una media per la popolazione di 0.04 mSv all'anno.

Un altro contributo all'esposizione difficile da valutare con precisione deriva inoltre dalle cosiddette **"fonti minori"**. Si tratta di oggetti d'uso e di beni di consumo che

contengono quantità modeste di radionuclidi, ad esempio degli orologi con cifre luminose a base di tritio¹⁾, dei radionuclidi naturali in piastrelle, reticelle e ceramica dentaria e degli avvisatori di fumo a ionizzazione, come anche del polonio-210 aspirato con il fumo. Per la media della popolazione, questo contributo ammonta all'incirca a 0.1 mSv all'anno. Le 62'236 persone professionalmente esposte a radiazioni, occupate nelle centrali nucleari, nell'industria, nel commercio, nei servizi pubblici, nella ricerca e nella medicina, hanno accumulato nel 1997 dosi di 20 mSv al massimo. La dose collettiva è stata di 8.37 Sievert-persona. Soltanto nel 3 per cento dei casi la dose era superiore a 1 mSv/anno, mentre la media ammonta a 0.13 mSv/anno per persona.

In media, i radionuclidi artificiali assorbiti con l'alimentazione causano in Svizzera una dose di circa 5 millesimi di mSv per anno. Il ¹³⁷Cs vi contribuisce circa con 3 millesimi, lo ⁹⁰Sr con 2 millesimi di mSv all'anno. Il margine di variazione è difficile da stimare, ma probabilmente molto ampio. Dalle misure dell'intero organismo svolte su classi di liceali ginevrini e basilesi risulta che le dosi dovute al ¹³⁷Cs incorporato sono nettamente inferiori a 1 millesimo di mSv/anno. Queste indicazioni valgono per la media della popolazione. In piccoli segmenti della popolazione con abitudini di vita e alimentari assai diverse dalla media questo contributo all'irradiazione potrebbe anche raggiungere 0.1 mSv all'anno. Tale sarebbe il caso, ad esempio per una persona che bevessa ogni giorno un litro di latte con la massima concentrazione di ¹³⁷Cs riscontrata nel 1997, 22 Bq/l. Chi consumasse ogni settimana 200 g di funghi di bosco con 600 Bq/kg di ¹³⁷Cs (limite di tolleranza)

¹⁾ Si sta tuttavia delineando una tendenza a rinunciare generalmente alle vernici luminescenti a base di tritio per gli orologi da polso, dato che sono ormai ottenibili sostanze fosforescenti la cui luminescenza residua dura assai più a lungo e che rendono superfluo il tritio.

subirebbe una dose annuale addizionale di 0.09 mSv.

La persone che consumano quotidianamente 200 g di ortaggi provenienti dal punto di massima attività presso l'impianto d'incenerimento dei rifiuti speciali di Basilea subiscono una dose annua addizionale di 2 millesimi di mSv dovuta al ^{14}C . Le emissioni di ^{14}C della centrale nucleare di Leibstadt e dell'Istituto Paul Scherrer a Villigen/AG sono più modeste, ma sempre ancora misurabili.

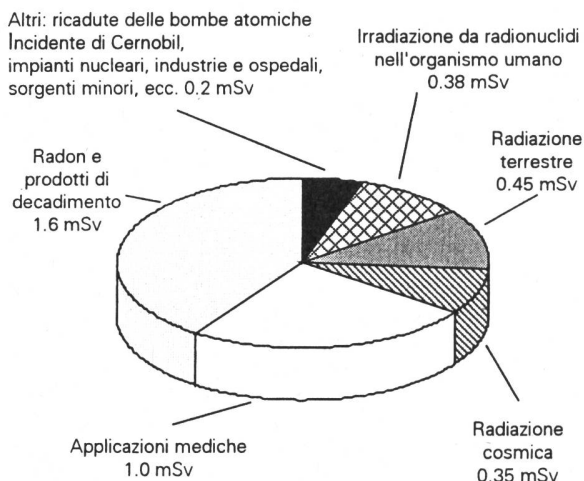
Irradiando la pelle, il gas nobile ^{85}Kr , il radionuclide artificiale presente in maggior concentrazione nell'aria, causa dosi di alcuni millesimi di mSv all'anno.

Nelle vicinanze delle aziende industriali, il tritio nell'aria causa al massimo 0.01 mSv per anno. Una persona che usasse come acqua potabile l'acqua piovana raccolta in questo punto (2 l/giorno), subirebbe una dose annua addizionale di 0.01 mSv. Il contributo di dose dovuto al tritio nel latte e negli ortaggi nei pressi dell'azienda di lavorazione del tritio a Niederwangen/BE ammonta al massimo ad alcuni millesimi di mSv.

Il contributo delle radioattività alla **dose d'irradiazione** esterna può essere indicato soltanto approssimativamente. In base all'ipotesi conservativa di una permanenza duratura all'aperto si ottiene una dose compresa tra 0.01 e 0.5 mSv all'anno. L'ampio margine di variazione riflette le differenze regionali della sedimentazione di ^{137}Cs dopo l'incidente nel reattore di Cernobil. Il contributo delle

centrali nucleari svizzere, dell'IPS e del CERN non è di rilievo. Se qualcuno stesse un'ora ogni giorno nel punto di massima attività, immediatamente adiacente al recinto della centrale nucleare di Leibstadt, dovrebbe far conto con una dose annua addizionale di 0.1 mSv.

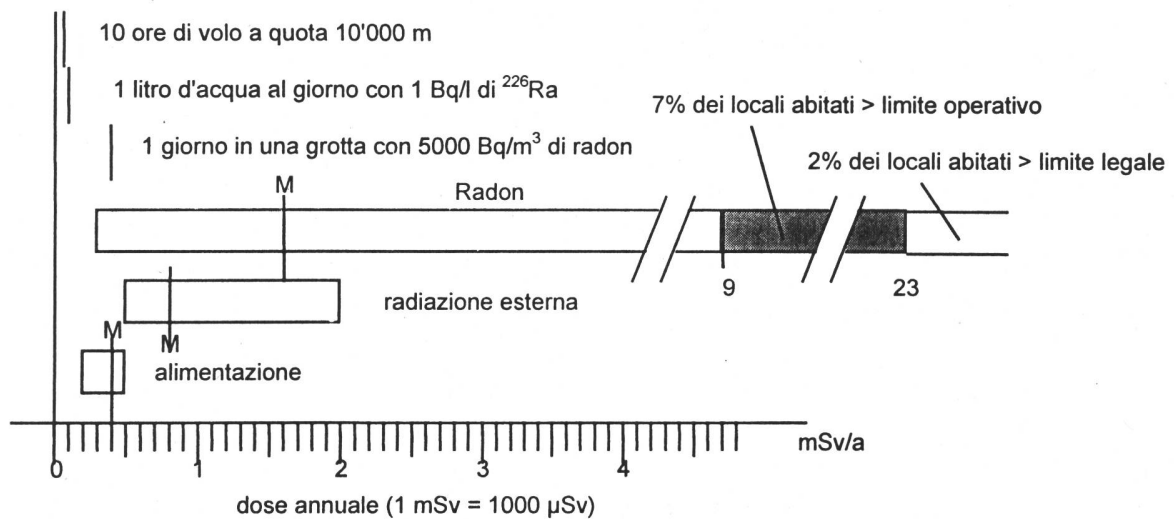
Complessivamente, la dose d'irradiazione dovuta alla **radioattività** artificiale (senza il radon, la medicina e le fonti minori) oscilla, per la maggioranza della popolazione svizzera, tra 0.01 e 0.05 mSv all'anno e raggiunge in casi estremi 0.1 mSv all'anno.



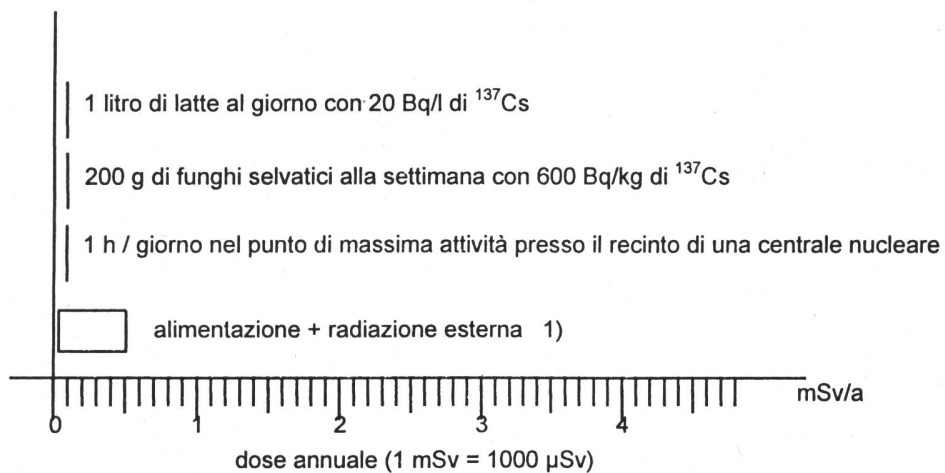
Contributi medi all'esposizione a radiazioni

(dose complessiva: 4 mSv/anno)

Contributo dei radionuclidi naturali e della radiazione cosmica



Contributo dei radionuclidi artificiali



Medie e margini di variazione delle dosi annue d'irradiazione della popolazione svizzera da fonti naturali e artificiali nel 1997

M = media

1) : contributo di centrali nucleari, ricerca e industria < 15 $\mu\text{Sv/a}$.

4. Unità di misura e regolamentazione legale

La **radioattività** è la caratteristica dei nuclei atomici instabili, di trasformarsi senza intervento esterno (decadimento radioattivo), emettendo una radiazione (ionizzante) caratteristica in forma di particelle alfa o beta e di quanti gamma. Sostanze radioattive naturali si trovano da sempre nell'ambiente; quelle artificiali si liberano durante l'esplosione di armi nucleari o provengono da impianti nucleari, nonché aziende ed ospedali che lavorano con radionuclidi.

La **radioattività** di una sostanza si misura in Becquerel (Bq). Un Bq corrisponde ad una disintegrazione radioattiva al secondo. 10^{-3} , 10^{-6} , 10^{-9} , 10^{-12} e 10^{-15} Bq si dicono millibecquerel (mBq), microbecquerel (μ Bq), nanobecquerel (nBq), picobecquerel (pBq) e femtobecquerel (fBq). 10^3 , 10^6 , 10^9 , 10^{12} e 10^{15} Bq si designano con i termini chilobecquerel (kBq), megabecquerel (MBq), gigabecquerel (GBq), terabecquerel (TBq) e petabecquerel (PBq). In passato, l'unità più in uso era il Curie (Ci): $1 \text{ nCi} = 37 \text{ Bq}$, $1 \text{ Bq} = 27 \text{ pCi}$.

Per valutare il **rischio d'irradiazione** incorso dalla popolazione, si determina la dose d'irradiazione come dose efficace in mSv o μ Sv. Si tiene così in considerazione il fatto che gli organi umani sono variamente sensibili all'irradiazione e che i diversi tipi di radiazioni non presentano tutti il medesimo rischio. La dose efficace è determinata nel modo seguente. Dapprima si calcola la dose assorbita da ogni organo, che spesso varia assai a seconda del tipo di radiazioni. Con fattori di correzione (detti fattori di ponderazione) si trasforma quindi questa dose in una dose teorica riferita all'intero organismo che costituirebbe il medesimo rischio come la dose misurata per l'organo in questione. Infine, si sommano le frazioni così determinate della dose dell'intero organismo. Il risultato è la dose efficace. Le tappe intermedie (dose assorbita, equivalente di dose e fattori di ponderazione) sono spiegate più precisamente alla pagina C-1.

Conformemente all'**Ordinanza sulla radioprotezione** (ORaP), le dosi d'irradiazione della popolazione in seguito alla radioattività legata alla civilizzazione e alle radiazioni presenti nell'ambiente, senza il radon e le applicazioni mediche, non devono superare 1 mSv all'anno. Per le persone professionalmente esposte a radiazioni è fissato un limite di 20 mSv all'anno. L'Ordinanza pone inoltre limiti all'immissione di sostanze radioattive nell'aria e nelle acque pubblicamente accessibili. Questi limiti sono fissati in modo tale che una persona che bevesse sempre acqua o respirasse aria appena conformi subirebbe per ognuno un'irradiazione di 0,2 mSv all'anno. Per l'irradiazione diretta, il valore limite è di 5 mSv all'anno nelle aree pubblicamente accessibili e di 1 mSv all'anno nei locali di abitazione, di soggiorno e di lavoro. Valori limite e di tolleranza per i radionuclidi nelle derrate alimentari sono pubblicati nell'Ordinanza sulle sostanze estranee e sui componenti nelle derrate alimentari (OEC). Quello che conta per la radioprotezione è il valore limite, mentre il valore di tolleranza costituisce unicamente un criterio di qualità e il suo superamento non comporta alcun rischio. L'evacuazione di sostanze radioattive nell'ambiente deve, in ogni caso, essere controllata. L'autorità cui compete il rilascio delle licenze fissa i limiti d'immissione. Per gli impianti nucleari, questi sono ad esempio scelti in modo tale che, anche nelle immediate vicinanze, nessuno subisca una dose aggiuntiva superiore 0,2 mSv all'anno. Il limite di concentrazione del radon nei locali d'abitazione e di soggiorno è fissato a 1000 Bq/m^3 . Edifici che presentano valori superiori a questo limite devono essere risanati. Gli edifici nuovi e quelli riattati non dovrebbero superare un limite operativo di 400 Bq/m^3 .

A

Environmental Radioactivity and Radiation Doses in Switzerland in 1997: Summary ¹⁾

H. Völkle

Environmental Radioactivity Section (SUER)
Swiss Federal Office of Public Health, Ch. du Musée 3, 1700 FRIBOURG

Introduction

In this section of the Report the reader will find a summary of the results obtained from monitoring radioactivity in the environment and the resultant radiation doses for the population. References to the corresponding sections in Part B of the Report or in earlier Annual Reports are contained in square brackets; references to Part A are in round brackets.

The first part contains the results of the environmental measurements carried out in accordance with the programme described in Section 1, classified according to the individual eco-systems through which radioactivity spreads. The second part contains the measurements of external radiation (ambient dose rates), whilst the third part explains the resulting radiation doses for the population.

It is not feasible to carry out completely comprehensive monitoring of radioactivity and radiation doses (in both space and time). Measuring campaigns, sampling stations and analytical techniques must thus be selected in such a way as to ensure that there is sufficient in-built redundancy in the monitoring programme as a whole to ensure that the principal contamination routes are included with a sufficient degree of reliability. This calls for a good understanding of the sources of both natural and man-made radioactivity as well as the processes of transport and

accumulation in the environment. This is only possible if the investigations carried out by the laboratories go beyond routine monitoring as such and also include interdisciplinary research projects. Typical examples might be investigations into the accumulation of radionuclides in sediments, natural radionuclides in drinking water and the diffusion of radon in the soil.

The calculation of the population's radiation doses is based on the models and dose factors set out in the Swiss Federal Radiological Protection Ordinance (Strahlenschutzverordnung, StSV) of 1994; this is built on the recommendations of the International Commission for Radiological Protection (ICRP). They apply for people who may be considered as average members of the population in terms of their lifestyle, nutritional habits and metabolism. Any deviation from the average concerning the consumption of certain foodstuffs or the frequentation of places with higher levels of radiation (such as caves or mountains) must be taken into consideration additionally.

When it comes to appraising radiation doses, the ICRP proposes the use of radiation risk factors. These take into account the risks of genetic malformations, death, the reduction in life expectancy or the quality of life as a result of cancer caused by ionising radiation. The figures applied here are based primarily on

1) English translation by Mike Evans, Freiburg/Brsq.

studies carried out on the survivors of the atomic-weapon attacks on Hiroshima and Nagasaki and cannot be considered as any more than very rough estimates. Assessing the radiation risk must be done by comparing it with the other risks of daily life. However, the levels of radioactivity in our environment and the radiation doses to which the population is exposed in Switzerland due to man-made sources have so far always been way below the corresponding statutory limits, rendering insignificant the radiation risk involved. The situation is different when it comes to radon, a natural source of radiation. Radon in dwellings (Section 2) is probably responsible for a few percent of the fatal cases of lung cancer occurring in Switzerland.

1. Natural and man-made radioactivity in the environment

1.1. Atmosphere

With the exceptions of ^{85}Kr and ^3H (tritium), there are now only very minor traces of man-made nuclides (^{137}Cs , ^{239}Pu and ^{241}Am) still detectable in the atmosphere [Sections 4.1 and 7.3 (Pu and Am)], even in the vicinity of nuclear installations [Section 8]. The long-lived ^{85}Kr , that results from the reprocessing of nuclear fuel, is distributed throughout the whole world at a level of around 1 Bq/m^3 , and the trend is on the increase [Section 7.1]. In the immediate vicinity of plant processing tritium, ^3H values of around 10 Bq/m^3 occur in atmospheric moisture [Section 4.1]. This is roughly one percent of the immission limit value laid down in the Swiss Federal Radiological Protection Ordinance.

The principal component of radioactivity in the atmosphere outdoors - and all the more so indoors - comes from the naturally occurring inert gas radon and its radioactive descendent products. When people breathe, these are inhaled in aerosols and become deposited in their lungs.

When they decay, they release alpha particles that irradiate the lung tissue and may trigger lung cancer. Amongst the 25,000 residential buildings surveyed in Switzerland up to 1997 (40,000 measurements) the mean value of radon concentration in rooms in which people actually live is around 80 Bq/m^3 ; in the other parts of buildings (cellars), it is around 120 Bq/m^3 . Some 7% of occupied rooms are above the guideline value of 400 Bq/m^3 , and about 2% are above the limit values of 1000 Bq/m^3 [Section 2]. Given that districts with higher radon risks and buildings where high radon concentrations were suspected were deliberately singled out for these investigations, these values represent an overestimation of the actual means for Switzerland. When it comes to assessing doses (3.1), the Report thus continues to use the older value of 60 Bq/m^3 . Remedial work, which is aimed, above all else, at making it more difficult for radon to enter houses through their floors, is underway.

1.2. Precipitation

In precipitation, it is again ^3H (tritium) that predominates, now with just a few Bq/l , coming mainly from industrial applications. The natural component of cosmogenic tritium contributes a few tenths of a Bq/l . In some regions, up to around 10 Bq/l from industrial plant and nuclear installations are superimposed on this background level, whereas, in a number of much more restricted localities in the immediate vicinity of tritium-processing industries or incineration plant burning wastes containing tritium, values of up to a few thousand Bq/l occur [Sections 4.1, 4.3, 7.1 and 9]. For water to which the public has access, the immission limit value laid down in the Swiss Federal Radiological Protection Ordinance is $12,000 \text{ Bq/l}$. The tolerance value for drinking water (as laid down in the Swiss Federal Ordinance on Food Contents and Contaminants - *FIV, Fremd- und Inhaltsstoffverordnung*) is 1000 Bq/l . All other artificial radionuclides, such as ^{137}Cs , had

values below 0.02 Bq/l in all the monthly samples, whereas the naturally-occurring ^7Be stands at around 1 Bq/l [Section 4.1].

1.3. Aquatic systems

In 1997, only traces of ^{60}Co , ^{134}Cs and ^{137}Cs were found in surface waters; generally speaking, the level of activity was below 0.02 Bq/l. Values of up to 0.04 Bq/l of ^{137}Cs appeared in samples taken from Lake Lugano, which would suggest that activity that had been stored in sediments is being dissolved again [Section 4.4]. Monthly mixed samples taken from the River Aare downstream of Mühleberg nuclear power station (Rewag) and from the River Rhine downstream of Basle (Weil, Germany) were measured using more sensitive techniques. The results make it possible to draw up a balance sheet of the monthly ^{60}Co load and to compare it with the liquid wastes coming from Swiss nuclear power stations. The two sets of results tally very well, with the exception of one month: November. [Section 4.3].

Investigations of both the water and the sediment in Lake Lugano make it possible to draw conclusions regarding inflows and outflows and also deposits of ^{137}Cs from the Chernobyl reactor accident in the sediment. The ^{137}Cs level in the in-flowing and out-flowing water stands at just a few mBq/l, and some 4 GBq ^{137}Cs are leaving Lake Lugano every year. In core borings of sediment, it is possible to recognise the Chernobyl contribution (at a depth of a few centimetres) and, somewhat weaker, the contribution of nuclear-weapons tests at depths of 10-20 cm [Section 4.4].

The tritium content of the rivers was similar to that detected in precipitation at around a few Bq/l. There is one exception to this, namely the River Doubs near St. Ursanne (Canton Jura) with values up to 44 Bq/l [Sections 4.3 and 7.1]. Measurements made on fish caught in the rivers Aare and Rhine provided no indication of any immission of artificial radionuclides.

Effluent from the sewage plant of the larger Swiss cities occasionally showed minor quantities (up to a few Bq/l) of ^{131}J , originating from nuclear medicine. Tritium values were at a maximum of 100 Bq/l, apart from the sewage works in La Chaux-de-Fonds, where values of up to 360 Bq/l occurred. Most of this tritium comes from the flue-gas scrubbing facilities installed on the regional waste incineration plant. The annual flow of tritium through the sewage works in 1997 was 12 TBq. Industry based in La Chaux-de-Fonds, processed 294 TBq ^3H [Sections 4.3 and 9].

1.4. Soil

Soil samples continued to show marked regional differences. In the case of the naturally-occurring radio nuclides from the uranium and thorium decay chains, this is explained by geological differences. In the case of ^{40}K , which also occurs naturally, the explanation resides in the use made of potassium fertilisers. Expressed relative to dry weight, ^{40}K shows values of 200-600 Bq/kg, the nuclides of the ^{232}Th decay chain between 15 and 40 Bq/kg and those from the ^{238}U decay chain between 25 and 60 Bq/kg [Sections 3.1 and 5.1].

The man-made radionuclides display regional differences caused by deposits from the atmospheric explosions of nuclear weapons in the 1960s as well as the Chernobyl reactor accident. The former lasted from the 1950s to the 1970s and match regional distributions of precipitation. They are thus higher for ^{137}Cs , ^{90}Sr and Pu in the central and southern Alpine ranges (and, in part, in the Jura) than in the Swiss Mittelland. The deposition of ^{137}Cs following the Chernobyl accident in May 1986, on the other hand, only lasted one-to-two weeks and, as far as long-lived radionuclides are concerned, it was basically confined to ^{137}Cs , whilst ^{90}Sr only accounted for around 1% of the total activity deposited in western Europe. The Chernobyl contribution is much less evenly distributed

than the contribution from the fallout resulting from nuclear-weapons tests, which tallies with the different quantities of precipitation during this period of time. The worst affected regions were the canton of Ticino (Tessin) and the southern valleys of Canton Graubünden (Grisons) and, to a lesser extent, the Jura and parts of north-eastern Switzerland too. Expressed in terms of dry weight, the sum of fallout-plus-Chernobyl results in 10 to 350 Bq/kg for ^{137}Cs , 1 to 6 Bq/kg for ^{90}Sr and 0.2 to 1.4 Bq/kg for ^{239}Pu . The largest part of this artificial radioactivity is still to be found in the top 20 cm of soil; in one case of a forest in Ticino (Tessin), it was found to be still only in the top 10 cm. In extreme cases, the accumulation of artificial nuclides may be even greater [Sections 3.1, 5.1, 7.2 (^{90}Sr) and 7.3 (Pu and Am)].

No effect of emissions from the nuclear installations was found in the soil, with just one exception: traces of ^{134}Cs , ^{137}Cs and ^{60}Co are detectable at a level of a few Bq/kg each at the Mühleberg nuclear power station; they result from an emission of radioactive resins that happened in 1986 [Sections 8.2 and 8.3].

1.5. Plants and food

In samples of grass and foodstuffs, it was usually the naturally-occurring ^{40}K that dominated compared with the artificial radionuclides. With the exception of ^{14}C , these traces do not originate from Swiss nuclear installations or research facilities. The essential component is ^{137}Cs originally from the Chernobyl reactor accident and the atmospheric nuclear-weapons tests that makes its way from the soil into the plants via their roots. The regional distribution mirrors that of the soil (see above). With the exception of Canton Ticino and the southern valleys of Canton Graubünden, the ^{137}Cs values in grass lie between 0.5 and 10 Bq/kg of dry matter; in milk, they are below 1 Bq/l, and in cereals, below 0.9 Bq/kg. In Canton Ticino and the southern valleys of Canton

Graubünden, it is still possible to find values in grass of up to 82 Bq/kg of dry matter and of up to 22 Bq/l in milk. For ^{90}Sr , the values for grass for the whole of Switzerland lie between 1.4 and 12 Bq/kg, for milk, between 0.03 and 0.45 Bq/kg, and in cereals, between 0.3 and 0.8 Bq/kg dry matter. In the Alps and parts of Canton Ticino, the ^{90}Sr values are a little higher than in the rest of Switzerland. This serves to confirm the assumption that those regions that have higher quantities of precipitation were also more strongly affected by fallout in the 1960s than was the Swiss Mittelland [Sections 5.1 and 7.2].

The tolerance value of 10 Bq/l for ^{137}Cs in milk was exceeded by one sample from Canton Ticino, which had 22 Bq/l, whereas no measurement exceeded the limit value of 400 Bq/l (including measurements made on baby-formula foods). In no case was the tolerance value of 1 Bq/l for ^{90}Sr in milk exceeded [Sections 5.1 and 7.2].

Measurements made on imported venison showed that, despite a declining trend, it is still possible to detect individual instances of higher ^{137}Cs values, although 80% of the samples were below 100 Bq/kg, and only one exceeded the tolerance value of 600 Bq/kg. Amongst the fungi measured on the northern side of the Alps (*Xerocomus badius*, other boletus species and *Rozites caperata*), only one sample turned out to be above the tolerance value of 6000 Bq ^{137}Cs /kg, expressed in terms of dry-matter content. Nearly half the samples produced values of less than 100 Bq/kg and none was above the limit value. Whereas there are signs of a gradual fall in values in other boletus fungi and *Rozites caperata*, no such trend has yet been detected in bay boletus, given the major scatter of values. All samples taken on imported fungi were below the tolerance value, and two-thirds of them were below 100 Bq/kg [Section 5.1].

1.6. Carbon-14 in plants

Plants take up ^{14}C through the assimilation of CO_2 from the atmosphere during their growing season. On top of the ^{14}C that is present in nature at a level of around 227 Bq/kg of carbon in plants comes the contribution from the nuclear-weapons tests. In the 1960s, this contribution was roughly equal to the natural one and today still stands at about 107 parts-per-thousand of it. In 1997, values up to 125 parts-per-thousand above the reference value were found in the leaves of trees near Leibstadt nuclear power station. At the closed-down Saphir research reactor at the Paul Scherrer Institute (PSI), this extra activity is still about 27 parts-per-thousand [Section 7.1].

In the city of Basle, the new hazardous-waste incineration plant handles, *inter alia*, waste products from chemical research that contain ^{14}C . This leads to an increase of up to 410 parts-per-thousand compared with the reference value in samples taken from the leaves of trees growing in the near vicinity.

The level of naturally occurring ^{14}C in foodstuffs leads to an annual dose of 0.013 mSv. The increase measured in the vicinity of boiling-water reactors and in the city of Basle leads to an additional annual dose of 0.001-0.002 mSv.

1.7. Human body

Whole-body measurements and ^{90}Sr determinations in milk teeth and vertebrae are used to establish the actual uptake of radionuclides with food. Whole-body measurements performed on children attending grammar schools in Basle and Geneva showed no measurable ^{137}Cs activity (i.e., less than 27 Bq), whilst the activity of the ^{40}K that occurs naturally in the human body is around 3500 Bq (in women) and can be as high as 5000 Bq (in men) [Section 6.1]. The maximum ^{90}Sr levels in milk teeth were 0.07 and in bones 0.03 Bq $^{90}\text{Sr/g Ca}$ [Section 6.2].

2. External radiation doses

2.1. Natural radiation

By far and away the largest part of the external dose comes from natural sources in the soil and in building materials as well as from cosmic radiation. Since ^{40}K and the nuclides from the uranium and thorium decay chains show very marked regional differences, this also causes very different regional dose levels. Cosmic radiation is attenuated to a certain extent by the atmosphere and is thus more intense at higher altitudes. At 300 metres above sea-level, its contribution to the ambient dose is approximately 40 nSv/h, whereas at 2000 m it is 80 nSv/h, and at the cruising altitude of aircraft at 10,000 m, it reaches 5000 nSv/h [Section 3.1].

The mean outdoor dose in Switzerland is around 100 nSv/h, with values ranging from 40 nSv/h to 230 nSv/h. Inside dwellings, the shell of the building may provide a partial shield against cosmic radiation and the contribution from radioactivity in the soil. Natural radionuclides in building materials, however, cause additional radiation, which, as a general rule, more than offsets this shielding effect. The mean value inside Swiss dwellings is 10% higher than outdoors at 110 nSv/h, with a range of 50-260 nSv/h [1996 Annual Report, Section 3.3].

2.2. Artificial radioactivity

The contributions from the Chernobyl reactor accident in April 1986 and from the atmospheric nuclear-weapons tests in the 1960s are still present, but today account for a few percentage points of the total external dose level only. One exception to this is Canton Ticino (Tessin), where this contribution is as high as 30% [Sections 3.1 and 3.2].

There are a few places right next to the perimeter fences around the nuclear power stations, the PSI and CERN where

values of a few hundred nSv/h were measured as a result of direct radiation. In the close neighbourhood, where access is easier, this contribution is, however, minimal and, given the short periods of time that people spend in such places, it does not make any really significant addition to the radiation dose [Section 8.3].

The contamination that occurred in the past near Mühleberg nuclear power station, that has already been referred to in Section 1.4, today causes a maximum of 3 nSv/h at a height of 1 m above the ground.

2.3. Aerial radiometry

Measurements that were made using a radiation detector mounted on board a helicopter (aerial radiometry using an NaI detector) readily detected the radiation resulting from the decay of the ^{16}N from Leibstadt nuclear power station (KKL), and the radiation from the interim storage facility for radioactive waste at the Paul Scherrer Institute (PSI). The 2000 nSv/h measured at an altitude of 90 m above Leibstadt nuclear power station are, however, of no significance for the population, since the radiation source is well shielded on all sides near to the ground [Section 3.4].

3. Population radiation doses

3.1. Natural radioactivity and cosmic radiation

The biggest single dose contribution comes from radon and its decay products in residential and work premises. The surveys carried out in Switzerland up until 1997 produced a mean value of 80 Bq/m³, with 50% of measurements below 77 Bq/m³, 93% below the guideline value of 400 Bq/m³ and 98% below the limit value of 1000 Bq/m³ [2]. Given that this mean is bound to overestimate the true circumstances on account of the fact that both the individual houses and the regions

surveyed were selected deliberately, the 1997 Report assumes the same values as the 1996 Report for its dose calculation, namely, 60 Bq/m³, along with the further assumptions that people spend 7000 hours a year in their homes and 2000 hours per year at their place of work. In Switzerland, no measurements have as yet been made in homes for the other naturally-occurring inert gas, thoron, but this does increase the dose values by roughly a further 10%. This results in a mean annual dose due to radon and thoron together of around 1.6 mSv. In about 5% of all residential accommodation the dose is more than a factor of ten greater than the mean, and in some 10% it is five times above the mean. By way of comparison: spending a whole day in a cave with 5000 Bq/m³ would lead to a dose of approximately 0.4 mSv.

Naturally occurring radionuclides also make their way into the body in food and lead to mean annual doses of around 0.36 mSv, whereby ^{40}K makes the biggest contribution with 0.2 mSv. The scatter band is not known, but the minimum is likely to be something below 0.2 mSv, given that the ^{40}K concentration in the human body remains more or less constant. The daily consumption of a litre of mineral water containing 1 Bq/l ^{226}Ra would lead to an additional dose of approximately 0.1.

It is not possible to make anything more than a rough estimate of the contribution made by the naturally-occurring radionuclides in the soil. This factor depends to a large degree on the local content of radionuclides in the soil, the height above sea-level and people's general habits. Moreover, measurements of ambient doses only show up the sum of the natural and artificial components. It is possible to use in-situ gamma spectroscopy to break ambient doses down into their individual contributions: in Switzerland, the natural share stands at between 40 and some 90 nSv/h, which leads to between

0.35 and 0.80 mSv per year for someone who spends all their time outdoors.

It is no easier to determine the contribution to radiation inside dwellings that comes from natural radionuclides in building materials. Gamma spectroscopy is the only measuring technique that makes it possible to distinguish between natural and artificial components. To date, very few such measurements have been made in Switzerland. The assumption is that doses indoors are likely to be about 10% higher than outdoors.

For anyone spending their whole time outdoors, cosmic radiation at an altitude of 300 metres above sea-level leads to an annual dose of around 0.35 mSv and at an altitude of 2000 metres above sea-level to something like 0.70 mSv. A single flight from Europe to North America results in around 0.04-0.09 mSv. For airline crews and passengers who fly frequently, cosmic radiation may cause an additional annual dose of 2 to 5 mSv.

A compilation of the dose-level measurements for the whole of Switzerland is to be found in Section B [3.1 and 3.3]. If it can be assumed that the share of artificial radioactivity is low in such places (i.e. only a few percent), then the mean value for Switzerland for the external natural radiation dose outdoors and indoors together is around 0.9 mSv per annum.

Taking the **Swiss population** as a whole, the annual dose from all **natural sources** amounts to around 2.9 mSv and is made up of the following components (the values in square brackets indicate ranges): food: 0.4 [0.2-0.5], external radiation: 0.9 [0.5-2.0], radon: 1.6 [0.3 - > 20 in 2% of dwellings].

3.2. Radiation doses resulting from civilisation

The biggest contribution comes from **medical applications** involving X-ray diagnosis and nuclear medicine. A survey

of doses due to X-ray diagnosis that was carried out in 1978 evidenced individual values of between 0 and 30 mSv per year with an approximate population mean of 1 mSv per year. A new survey is currently being performed. For nuclear medicine, a survey carried out in 1989/90 showed individual values of up to 80 mSv with a population mean of 0.04 mSv per year.

Another contribution to radiation exposure that it is not possible to assess with any sort of accuracy is represented by the so-called "**minor sources**". This category includes utilitarian objects and consumer goods that contain radionuclides in low quantities, such as clocks and watches with fluorescent numbers using tritium-based substances ¹⁾, natural radionuclides in tiles, fluorescent lights or dental ceramics, ionic smoke detectors, as well as the polonium-210 that is inhaled along with cigarette smoke. Averaged over the whole population, this contribution is likely to amount to around 0.1 mSv per year. The 62,236 people in Switzerland who are exposed to radiation on account of their jobs in nuclear power stations, manufacturing industry, commerce, public services, research and medicine all accumulated doses of no more than 20 mSv in 1997, with one single exception, and the collective dose was 8.37 person-sieverts. In only 3% of the cases was the dose greater than 1 mSv per year, with a mean of 0.13 mSv per person per year.

In Switzerland, the man-made radionuclides that are ingested along with food cause, on average, an **internal irradiation** of around five-thousandths of a millisievert per year. ¹³⁷Cs contributes about three thousandths of a millisievert per year, and ⁹⁰Sr about two. It is very difficult to estimate the scatter band, but it is likely to

1) There are, however, signs of a trend to discontinue the use of fluorescent tritium dyestuffs in wrist watches altogether, given that phosphorescent dyestuffs with a much longer afterglow are now available and can thus render tritium superfluous.

be big. Whole-body measurements made on school classes from Geneva and Basle show doses for incorporated ^{137}Cs of significantly less than one thousandth of a millisievert per year. These figures are applicable to the average population. There are, however, groups within the population as a whole whose lifestyles and nutritional habits differ significantly from the average, and for such people the contribution due to this particular dose may be as high as 0.1 mSv per year. This would be the case, for instance, for a person, who every single day consumed a litre of milk with the highest ^{137}Cs concentration found in 1997, i.e. 22 Bq per litre. If anyone happens to eat 200 grams of wild fungi with 600 Bq/kg ^{137}Cs (tolerance limit) every single week, then he or she would have a resultant additional annual dose of 0.09 mSv.

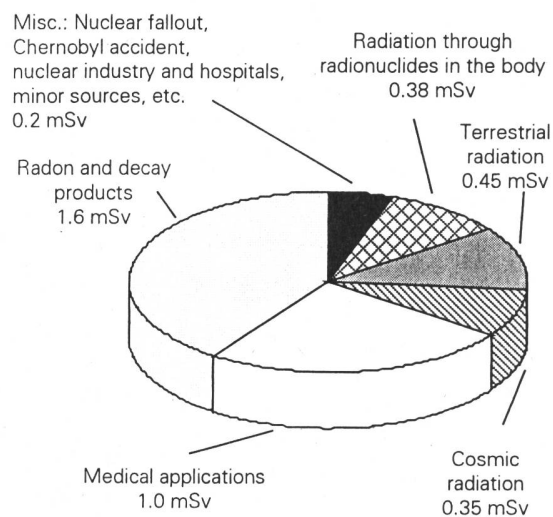
People who every day eat 200 grams of vegetables from the most severely affected location in the vicinity of Basle's hazardous-waste incineration plant receive an additional dose of two-thousandths of a millisievert per year through ^{14}C . Even lower, although still measurable, emissions of ^{14}C come from Leibstadt nuclear power station and the PSI in Villigen (Canton Aargau).

The inert gas, ^{85}Kr , the artificial radionuclide with the highest atmospheric concentration, causes doses of a few thousands of a millisievert per annum through irradiation of the skin.

In the near vicinity of industrial plant, tritium in the atmosphere leads to a maximum of 0.01 mSv per year. Anyone who happened to use rainwater collected precisely here with its 1000 Bq/l as drinking water (2 litres per day), would receive an additional annual dose of 0.01 mSv. The dose contribution from tritium in milk and vegetables from the near vicinity of the above-mentioned tritium-processing plant in Niederwangen (Canton Berne) amounts to a maximum of a few thousands of a millisievert.

It is not possible to indicate anything more than an approximate figure for the contribution to the **external radiation dose** that is due to artificial radioactivity. The conservative assumption of a person spending the whole of their time outdoors results in between 0.01 and 0.5 mSv per year. This big scatter band is a consequence of the regional differences in ^{137}Cs deposits following the Chernobyl reactor accident. Neither the Swiss nuclear power stations, nor the PSI, nor CERN make any really significant contribution to it. Anyone spending an hour a day at the most affected point right next to the perimeter fence around Leibstadt nuclear power station would have to reckon with an additional dose of 0.1 mSv per year.

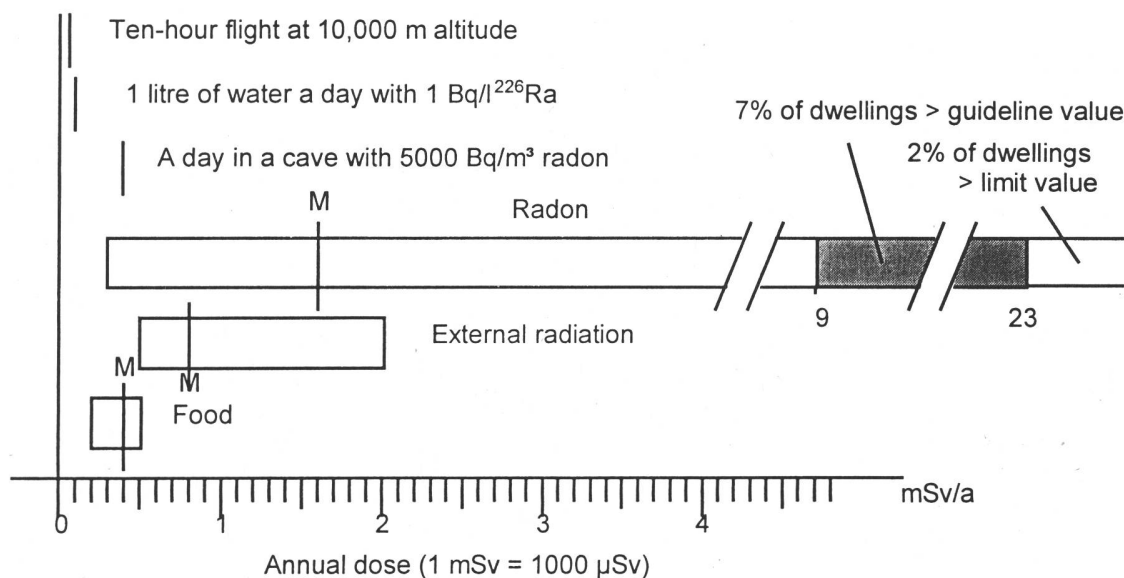
All in all, for the majority of the Swiss population, the radiation dose caused by **artificial radioactivity** (excluding radon, medicine and minor sources) lies between 0.01 and 0.05 millisieverts per year, with values of up to 0.1 mSv per year in individual cases.



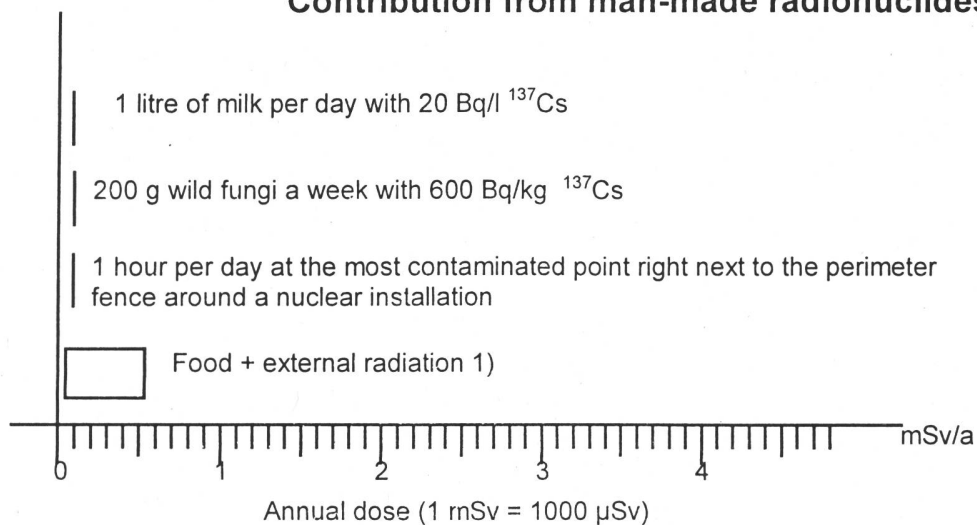
Average contributions to radiation exposure

(Total dose: 4 mSv/year)

Contribution from natural radionuclides and cosmic radiation



Contribution from man-made radionuclides



Means and scatter bands for the annual radiation doses caused by natural and artificial sources for the Swiss population in 1997.

M = Mean

1) : Contribution from nuclear power stations, research and industry < 15 $\mu\text{Sv/a}$.

4. Units and Regulations

Radioactivity is a property of instable atomic nuclei to change (undergoing radioactive decay) without external influences, and, in the process, to release a characteristic (ionising) radiation in the form of alpha or beta particles or gamma quanta. Natural radioactive substances have always been part of the environment; artificial ones are released in nuclear-weapons explosions, but may also originate from nuclear power stations or factories or hospitals that process radionuclides.

The unit used for indicating the **radioactivity** of a substance is the becquerel (Bq). One becquerel corresponds to a single radioactive decay per second. 10^{-3} , 10^{-6} , 10^{-9} , 10^{-12} and 10^{-15} becquerels are written mBq, μ Bq, nBq, pBq and fBq respectively (milli-, micro-, nano-, pico- and femto-). In the same way, 10^3 , 10^6 , 10^9 , 10^{12} and 10^{15} becquerels are written kBq, MBq, GBq, TBq and PBq respectively (kilo-, Mega-, Giga-, Tera- and Peta-). In the past, another unit, the Curie (Ci), was frequently used ($1 \text{ nCi} = 37 \text{ Bq}$ and $1 \text{ Bq} = 27 \text{ pCi}$).

In order to be able to assess the population's **radiation risk**, the radiation dose that is taken for the population is the effective dose, which is determined in millisieverts (mSv) or microsieverts (μ Sv). This takes into consideration the facts that the various organs of the human body have different radiation sensitivities and that the various types of radiation are dangerous in different ways. The effective dose is determined as follows: first of all, the energy dose of the individual organs is calculated and this can often vary depending on the type of irradiation. Correction factors (or weighting factors, as they are more usually called) are then applied to convert each organ dose into a theoretical whole-body dose that would cause the same radiation risk as the organ dose. The whole-body shares, which are calculated in this way for each of the various organs, can now be added together. The result thus obtained is the effective dose. The individual steps in this calculation (energy dose and equivalent dose) and the weighting factors applied are explained in more detail on page C-1 of the Report.

The Swiss **Federal Radiological Protection Ordinance** (*Strahlenschutzverordnung, StSV*) states that the dose for the population resulting from radioactivity caused by civilisation and radiation in the atmosphere should not exceed 1 mSv per year — a figure which does not include radon and medical applications. For people exposed to radiation as a result of their occupation, it lays down a maximum figure of 20 mSv per year. It also establishes immission limits for the atmosphere and water in places accessible to the public, and if such limits were to be used to the full in terms of a continuous load in drinking water and the air breathed, they would result in an additional approximately 0.2 mSv per year each. For direct radiation, a limit of 5 mSv per year applies to ambient doses in places accessible to the public and 1 mSv per year applies in the home, at the place of work and in other buildings where people congregate. Tolerance and limit values for radionuclides in food are published in the Swiss Ordinance on Food Contents and Contaminants (*Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe, FIV*). What is of relevance from the radiological protection point of view is the limit value, whereas the tolerance value represents a purely qualitative criterion and does not, of itself, constitute a radiation risk. Radioactive substances may only be released to the environment in a controlled manner, and the licensing authority lays down discharge limits. For the nuclear power stations, for instance, these are chosen in such a way that no person in the immediate vicinity can be subject to an additional dose in excess of 0.2 mSv per year. For radon gas, the maximum value applicable to residential accommodation and other buildings in which people congregate is 1000 Bq/m^3 . If this maximum is exceeded then remedial work must be performed on the buildings concerned. For new or converted buildings, the guideline value of 400 Bq/m^3 should not be exceeded.